

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Tomáš Kobza

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Analýza mimořádných stavů sítě programem
EMTP-ATP
Analysis of the Network abnormal States by
EMTP-ATP

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kobza**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Analýza mimořádných stavů sítě programem EMTP-ATP**
Analysis of the Network abnormal States by EMTP-ATP

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Je dána síť 30 kV Šternberk s VtE, spojená V598 na hladině 110 kV s rozvodnou Červenka. Vytvořte model sítě v EMTP-ATP a simulujte:

1. jednopólové OZ na V598 v Července a sledujte přechodný děj u VtE a ve Šternberku na straně 110 kV a totéž pro úspěšný třífázový OZ,
2. vypnutí V598 po propojení Šternberku s Červenkou po VN80 a sledujte přechodný děj u VtE a ve Šternberku na straně 110 kV.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dokumentace programu EMTP-ATP

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Věslav Mach**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29. 4. 2016

Podpis 

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Věslavu Machovi za cenné rady a vedení při její tvorbě a modelování.

Děkuji panu Ing. Romanu Vaňkovi, Ph.D. za poskytnuté informace a rady pro modelování.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá modelováním reálné části distribuční sítě pomocí programu EMTP-ATP. Síť je tvořena především větrnou farmou a rozvodnou 110 kV. Jsou řešeny tři stavy, které mohou v této síti nastat. Prvním případem je jednofázové opětovné zapnutí vedení 110 kV. Druhý případ je trojfázové opětovné zapnutí na stejném vedení a třetím případem je přepojení větrné farmy přes vedení 22 kV. Výsledné průběhy jsou vykresleny programem PlotXY.

Klíčová slova

EMTP-ATP, OZ, větrná farma

Abstract

This thesis focuses on modeling the real part of the distribution Network by using the EMTP-ATP. The Network is mainly composed from wind farm and 110 kV substation. There are solved three States which can occur in the Network. The first case is reclosing phase of 110 kV line. The second case is a three-phase reclosing of the same line and the third case is the reconnection of wind farm through 22 kV line. The resulting curves are rendered by PlotXY.

Keywords

EMTP-ATP, recloser, wind farm

Obsah

Úvod.....	1
Rozbor analyzované části sítě.....	2
Komponenty sítě	3
Rozbor zkoumaných případů	15
Řešení zkoumaných případů	16
První případ.....	16
Druhý případ	30
Třetí případ	40
Závěr.....	45
Seznam použité literatury.....	46

Seznam symbolů a zkratek

R110 – rozvodna 110 kV

DS – distribuční síť

OZ – opětovné zapnutí

HV – vyšší (primární) napětí

LV – nižší (sekundární) napětí

TV – terciární napětí

Seznam ilustrací

Obr. č. 1 Schéma zapojení sítě	2
Obr. č. 2 Graf roční produkce energie.....	3
Obr. č. 3 PQ diagram Vestas V90	3
Obr. č. 4 Model generátoru	4
Obr. č. 5 Graf průběhu úhlové rychlosti.....	6
Obr. č. 6 Tlumivka TKFC-30.....	7
Obr. č. 7 Schéma transformátoru T104	8
Obr. č. 8 Model transformátoru T104	9
Obr. č. 9 Model transformátoru T102 (T101)	11
Obr. č. 10 Stožár 110 kV soudek-nosný.....	12
Obr. č. 11 Schéma modelu sítě pro první případ.....	16
Obr. č. 12 Průběh napětí V_{tE} , detail poruchy, první případ.....	18
Obr. č. 13 Průběh proudu V_{tE} , detail poruchy, první případ	19
Obr. č. 14 Průběh napětí R110 Červenka, detail poruchy, první případ	20
Obr. č. 15 Průběh proudu R110 Červenka, detail poruchy, první případ.....	21
Obr. č. 16 Průběh napětí V_{tE} , detail odpojení, první případ	22
Obr. č. 17 Průběh proudu V_{tE} , detail odpojení, první případ	23
Obr. č. 18 Průběh napětí R110 Červenka, detail odpojení, první případ	24
Obr. č. 19 Průběh proudu R110 Červenka, detail odpojení, první případ.....	25
Obr. č. 20 Průběh napětí V_{tE} , detail připojení, první případ.....	26
Obr. č. 21 Průběh proudu V_{tE} , detail připojení, první případ	27
Obr. č. 22 Průběh napětí R110 Červenka, detail připojení, první případ	28
Obr. č. 23 Průběh proudu R110 Červenka, detail připojení, první případ	29
Obr. č. 24 Schéma modelu pro druhý případ	30
Obr. č. 25 Průběh napětí V_{tE} , detail odpojení, druhý případ	32
Obr. č. 26 Průběh proudu V_{tE} , detail odpojení, druhý případ.....	33
Obr. č. 27 Průběh napětí R110 Červenka, detail odpojení, druhý případ.....	34
Obr. č. 28 Průběh proudu R110 Červenka, detail odpojení, druhý případ	35
Obr. č. 29 Průběh úhlové rychlosti generátoru, druhý případ	36
Obr. č. 30 Průběh proudu R110, detail připojení, druhý případ.....	37
Obr. č. 31 Průběh napětí R110 Červenka, detail připojení, druhý případ	38
Obr. č. 32 Proud R110 Červenka, detail připojení, druhý případ.....	39
Obr. č. 33 Schéma modelu pro třetí případ	40
Obr. č. 34 Průběh napětí V_{tE} , odpojení V598, třetí případ	41
Obr. č. 35 Průběh proudu V_{tE} , odpojení V598. třetí případ	42
Obr. č. 36 Průběh napětí R110 Červenka, odpojení V598, třetí případ	43
Obr. č. 37 Průběh proudu R110 Červenka, odpojení V598, třetí případ.....	44

Seznam tabulek

Tab. č. 1 Zadané parametry generátoru.....	5
Tab. č. 2 Parametry zdroje momentu	5
Tab. č. 3 Parametry generátorového transformátoru.....	6
Tab. č. 4 Parametry modelu transformátoru T104	9
Tab. č. 5 Parametry transformátoru T101	10
Tab. č. 6 Parametry transformátoru T102	11
Tab. č. 7 Parametry V598.....	12
Tab. č. 8 Parametry VN80.....	13

Úvod

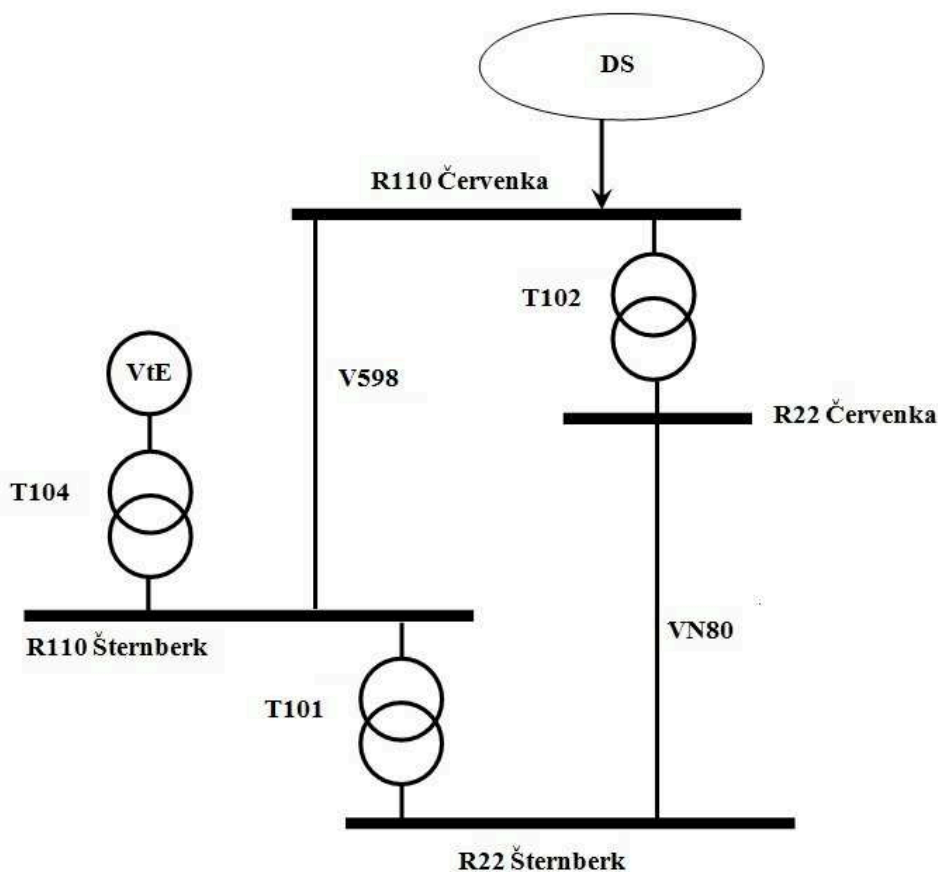
Tato diplomová práce se zabývá analýzou přechodných jevů a jejich vlivů na model sítě vytvořený v programu EMTP-ATP. Model představuje část distribuční sítě zahrnující větrnou farmu, transformátory, rozvodnu 110kV a vedení VVN a VN. Práce slouží k prozkoumání vlivů zapříčiňujících jevy vzniklé na zkoumané části sítě.

Práce se v první části zabývá jednotlivými modely všech prvků, které se vyskytují v modelu sítě. Modely jsou sestavovány dle svých reálných parametrů. Další část se zabývá rozbořem jednotlivých případů. V následující kapitole jsou prezentovány výsledky a popis kroků simulací. Výsledky jsou prezentovány ve formě grafů proudů a napětí, popřípadě otáček stroje.

Rozbor analyzované části sítě

Zkoumaná část sítě je sestavena z devíti větrných elektráren, každá o výkonu 2 MW, označených na obrázku 1 jako VtE. Tyto elektrárny jsou připojeny přes transformátor T104 110/31,5 kV na vedení 110 kV, při normálním chodu je větrná farma přivedena přes vedení V598 na tvrdou síť 110 kV v Července. Pokud V598 musí být odstaveno, lze VtE připojit přes transformátor T101 110/23 kV a následně přes T2 110/23 kV pomocí VN80, které je v normálním provozu vypnuto, opět na rozvodnu 110 kV v Července.

Vedení V598 je vybaveno tří pohonovými vypínači s možností opětovného zapnutí. Je možné vypnout a následně zapnout pouze jednu fázi, ale také i všechny tři fáze. Distanční ochrana si volí, jedno nebo třífázový OZ. VN80 má jedno pohonové vypínače, umožňující jen třífázový OZ.

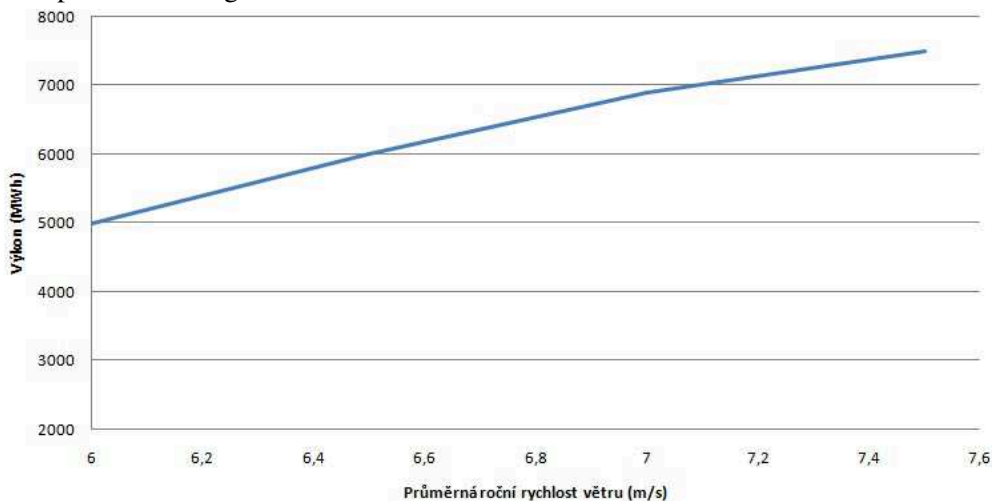


Obr. č. 1 Schéma zapojení sítě

Komponenty sítě

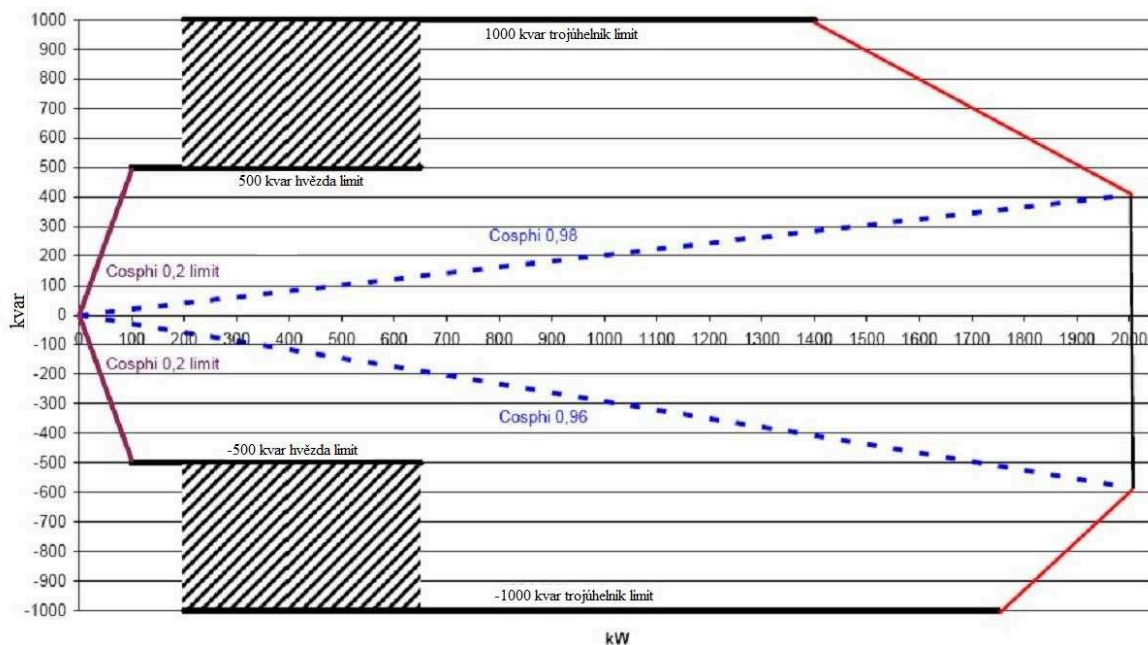
Větrná farma je složena z devíti větrných elektráren každá o výkonu 2 MW. Jedná se o větrné turbíny Vestas V90. Údaje převzaty z [1].

Roční produkce energie:



Obr. č. 2 Graf roční produkce energie

Následující text převzat z [3]. Větrné elektrárny V90-2,0 MW mohou pracovat v režimu s předem nastaveným účinníkem, u toho to režimu je účinník v rozmezí od 0,98 kapacitně do 0,96 indukčně, měřeno před transformátorem, teda na straně 690 V při 100% jmenovitém výkonu. Lze zvolit i jiné činitele výkonu, ovšem se sníženým činným výkonem.



Obr. č. 3 PQ diagram Vestas V90

Na výše uvedeném diagramu jsou znázorněny možnosti řízení jalového výkonu větrných elektráren. Jalový výkon se vytváří prostřednictvím měniče v elektrickém obvodu rotoru, a proto nejsou využity tradiční kondenzátory.

Zařízení V90-2,0 MW jsou rovněž schopná pracovat v režimu jalového výkonu. V režimu jalového výkonu a při zapojení statoru do trojúhelníku generují nebo odebírají jalovou energii až do výše 1000 kvar. Jestliže je stator zapojen do hvězdy, činí maximální jalový výkon 500 kvar.

Zařízení automaticky mění zapojení generátoru z hvězdy na trojúhelník a naopak v závislosti na aktuálních požadavcích produkce výkonu. Kritéria pro přepnutí jsou následující:

- z hvězdy na trojúhelník: činný výkon je nad hranicí 650 kW déle jak 30 s
- z trojúhelníku na hvězdu: činný výkon je pod hranicí 200 kW déle jak 15 s

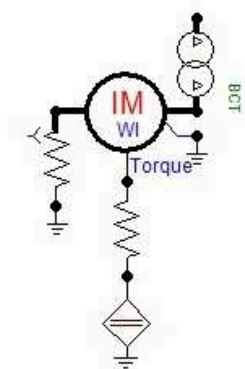
To znamená, že zařízení, které je například nastaveno na produkci 750 kvar, automaticky snižuje jalový výkon na 500 kvar v okamžiku, kdy se generátor nachází v zapojení do hvězdy.

Šrafovaná oblast naznačuje, že generátor může být v zapojení do hvězdy tak v zapojení do trojúhelníku v závislosti na aktuálních podmínkách.

Generátor může také vytvářet výkon přes 650 kW v zapojení do hvězdy, pokud se rychlost větru během 30 sekundové prodlevy rapidně zvýší. Produkce činného výkonu v zapojení do hvězdy je omezena hodnotou 950 W. To stejné se může stát během nízké rychlosti větru během 15 sekundové prodlevy, tak, že se generátor může nacházet v zapojení do trojúhelníku a produkuje méně než 200 kW. Minimální jalový výkon je omezen na účinník 0,2.

Parametry mohou být nastaveny jednak přímo na místě větrné elektrárny nebo dálkovým seřízením prostřednictvím dálkového kontrolního systému.

Model generátoru byl vytvořen pomocí prvku univerzální indukční stroj UMIND. Zadáním parametrů stroje a připojením zdroje momentu na hřídel dostaneme požadovaný stroj. Účinník generátoru byl nastaven na 0,96 indukční tedy stav, při němž je jalový výkon odebírán ze sítě.



Obr. č. 4 Model generátoru

Tab. č. 1 Zadané parametry generátoru

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Frequency	Frekvence	Hz	50
Voltage	Napětí	kV	0,69
Power	Výkon	MW	2 (*2717,4 hp)
Speed (rpm)	Synchronní otáčky	min ⁻¹	1500
Powerfactor	Účinník	-	0,96
Efficiency	Účinnost	-	0,98
Slip	Skluz	%	12
Start curr. (pu)	Rozběhový proud	-	3
Start torque (pu)	Rozběhový moment	-	0,65
Max. torque (pu)	Moment zvratu	-	2

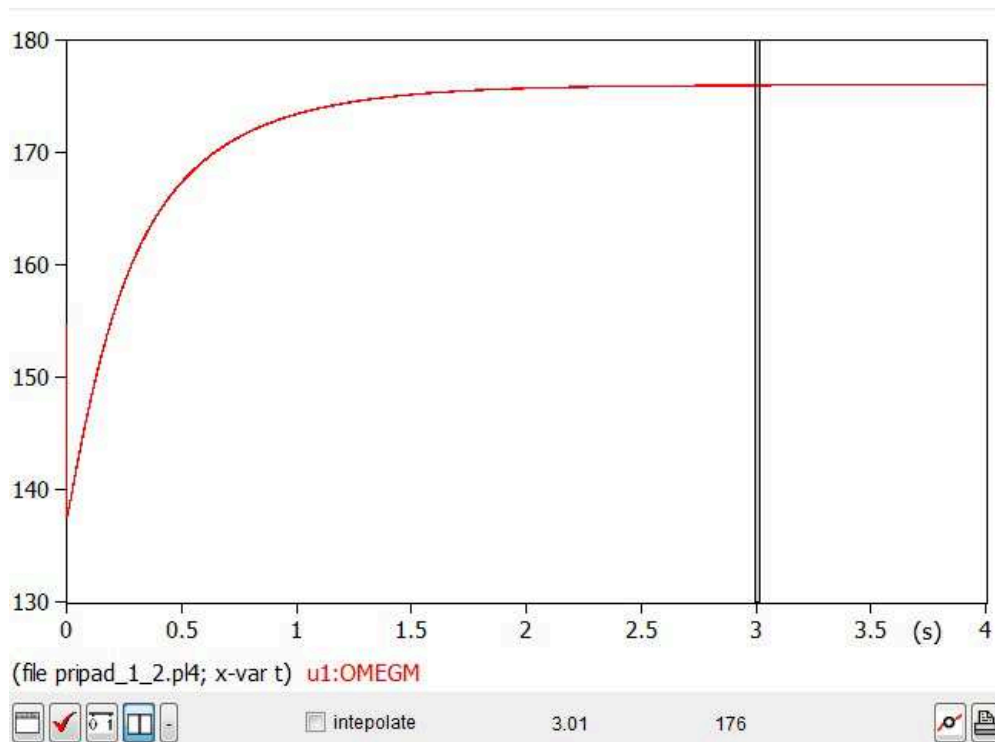
$$* P = 2 \text{ MW} = \frac{2000000}{736} = 2717,4 \text{ hp} \quad (1)$$

Jako zdroj momentu byl využit zdroj stejnosměrného proudu, kde velikost proudu odpovídá jmenovitému momentu stroje. Hodnota jmenovitého momentu byla získána pomocí výpočtového programu WindSyn, který je součástí ATPDraw. Po zadání potřebných parametrů do modelu UMIND je získána hodnota jmenovitého momentu pro jeden generátor a to $M_n = 12962 \text{ Nm}$. Schematická značka proudového zdroje je zobrazena na Obr. č. 4, která je připojen na svorku Torque (moment). Následuje tabulka se zadanými hodnotami pro zdroj momentu.

Tab. č. 2 Parametry zdroje momentu

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Amplitude	Amplituda	A	12963
Tstart	Čas startu	s	-1
Tstop	Čas vypnutí	s	10

Po spuštění simulace generátor musí dosáhnout jmenovitého stavu, při kterém jsou konstantní otáčky. Úhlová rychlost motoru pro 1680 min^{-1} je $175,9 \text{ rad/s}$. Na následujícím obrázku je zobrazen průběh úhlové rychlosti generátoru od započetí simulace po dobu čtyř sekund.



Obr. č. 5 Graf průběhu úhlové rychlosti

Z obrázku lze vidět, že generátor se ustálí na rychlosti 176 rad/s za dobu přibližně 3 s. Tento průběh se vztahuje ke generátoru samostatně pracujícím do sítě 110 kV.

Součástí každé větrné turbíny je v gondole umístěný transformátor, který lze vidět na Obr. č. 4 zapojený na pravý vývod větrné turbíny. Parametry modelu transformátoru:

Tab. č. 3 Parametry generátorového transformátoru

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Numberofphases	Počet fází	-	3
Numberofwindings	Počet vinutí	-	2
Frequency	Frekvence	Hz	50
Voltage HV	Napětí vyšší	kV	31,5
Voltage LV	Napětí nižší	kV	0,69
Power	Výkon	MV·A	2,1
Connections	Zapojení	-	DD
Open circuitCurr	Proud naprázdno	%	0,75
Open circuitLoss	Ztráty naprázdno	kW	6
ShortcircuitLoss	Ztráty nakrátko	kW	15
ShortcircuitImp.	Napětí nakrátko	%	6.3

Tyto transformátory zvyšují výstupní napětí větrné turbíny z 690 V na napětí 31,5 kV pro následný transformátor T104, který transformuje napětí již na přenosovou hodnotu 110 kV. Všech devět větrných turbín pak tvoří větrnou farmu o celkovém výkonu 18 MW.

Transformátor T104 slouží k připojení VtE k rozvodné soustavě R110 kV Červenka pomocí linky V598. Jedná se o transformátor v zapojení hvězda/hvězda s vyrovnávacím trojúhelníkem.

Před transformátor je umístěna rozvodna 30 kV se spínací měřicí technikou, samotný transformátor je také měřen pomocí měřících transformátorů proudů a jištěn pěti bleskojistkami. Hvězdy na straně VVN je přímo uzemněna, hvězda na straně VN je uzemněna přes odpor. Na trojúhelník je přes vypínač připojena třífázová kompenzační tlumivka, která se připojuje při dlouhodobém zvýšení napětí na vedení 110 kV, tedy odebírá jalovou energii ze sítě. Použitá tlumivka je na napětí 6,4 kV o výkonu 1500 kV·A. Obrázek převzat z [2]. Pro výpočet indukčnosti je celý výkon tlumivky brán jako jalový.

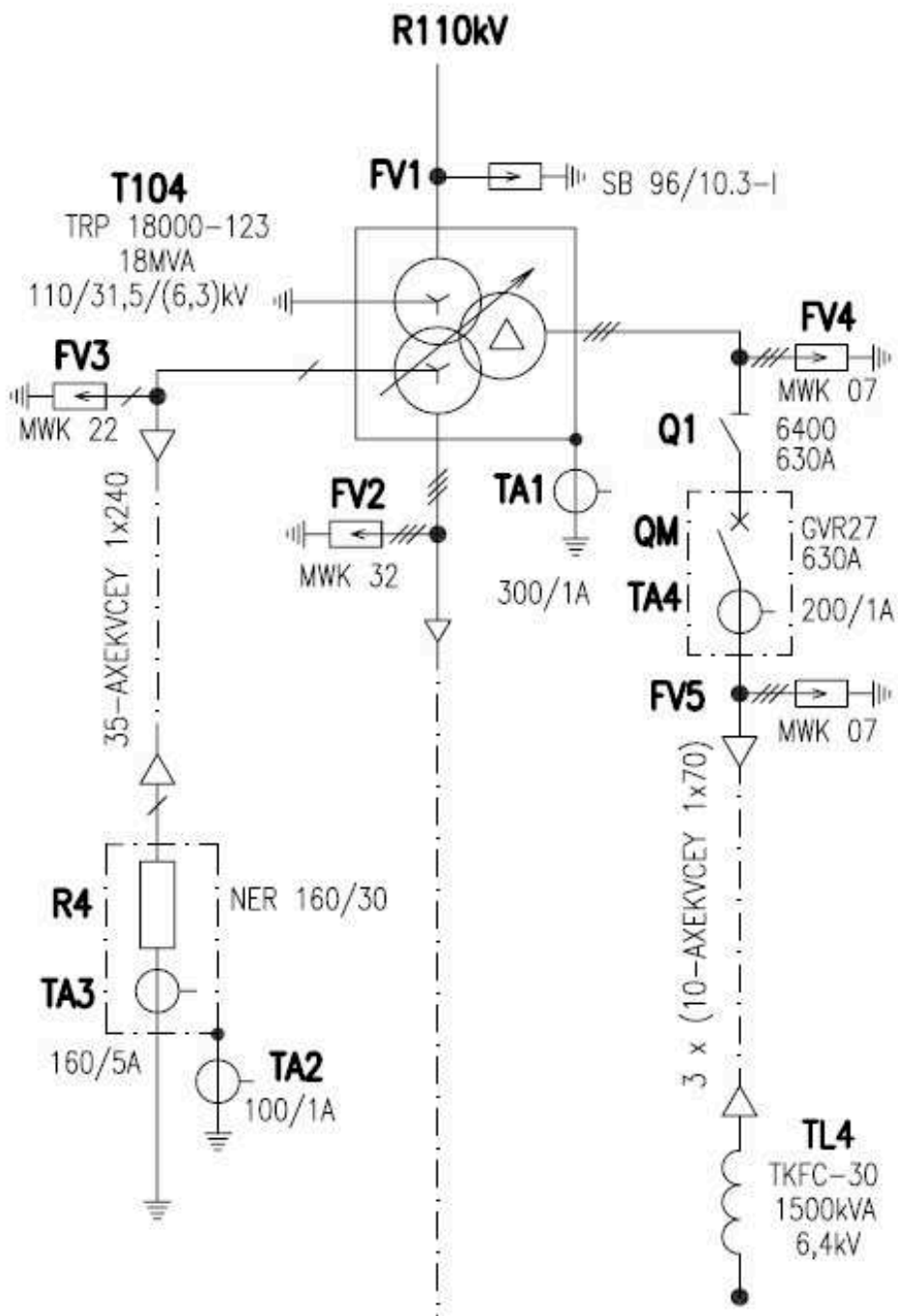
$$X = \frac{U^2}{Q} = \frac{6400^2}{1,5 \cdot 10^6} = 27,3 \, \Omega \quad (2)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{27,3}{2\pi \cdot 50} = 86,9 \, \text{mH} \quad (3)$$



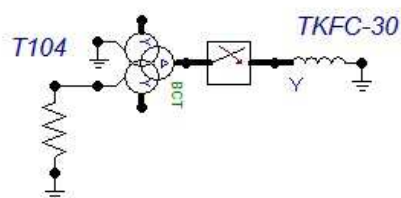
Obr. č. 6 Tlumivka TKFC-30

Následující obrázek zobrazuje schéma transformátoru T104, se všemi přístroji připojených k němu. Na obrázku není zakreslena rozvodna, které obsahuje zejména vypínač, odpojovač, měřící transformátor proudu a napětí.



Obr. č. 7 Schéma transformátoru T104

Při simulaci vypínací a zapínacích přechodných dějů a jejich vliv na síť není nutno v modelu uvažovat s měřicími transformátory a bleskojistkami. Model pro simulaci byl vytvořen pomocí prvku BCTAN, kde požadovanými parametry jsou napětí, počet vinutí a jejich zapojení, dále pak zdánlivý výkon a ztráty transformátoru naprázdno a nakrátko.



Obr. č. 8 Model transformátoru T104

Tab. č. 4 Parametry modelu transformátoru T104

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Numberofphases	Počet fází	-	3
Numberofwindings	Počet vinutí	-	3
Frequency	Frekvence	Hz	50
Voltage HV	Napětí vyšší	kV	110
Voltage LV	Napětí nižší	kV	31,5
Voltage TV	Terciární napětí	kV	6,3
Power	Výkon	MV·A	18
power TV	Výkon terciárního vinutí	MV·A	2
Connections	Zapojení	-	YY/D1
Open circuitCurr	Proud naprázdno	%	0,14
Open circuitLoss	Ztráty naprázdno	kW	12
ShortcircuitLoss HV-LV	Ztráty nakrátko	kW	61
ShortcircuitLoss HV-TV	Ztráty nakrátko	kW	3,2
ShortcircuitLoss LV-TV	Ztráty nakrátko	kW	3
ShortcircuitImp. HV-LV	Napětí nakrátko	%	11,55
ShortcircuitImp.HV-TV	Napětí nakrátko	%	2,3
ShortcircuitImp. LV-TV	Napětí nakrátko	%	3,99

Rozvodna i transformátor jsou chráněny digitálními ochranami. Pro ochranu vývodů z rozvodny 30 kV jsou použity ochrany:

- Nadproudová nesměrová fázová ochrana
- Směrová nadproudová fázová ochrana
- Nadproudová nesměrová zemní ochrana

Transformátor T104 na straně 30 kV:

- Nadproudová nesměrová fázová ochrana
- Směrová nadproudová fázová ochrana

T104 na straně 110 kV:

- Rozdílová ochrana
- Nadproudová nesměrová fázová ochrana
- Směrová nadproudová fázová ochrana
- Směrová nadproudová zemní ochrana
- Napěťová ochrana, reaguje při napětí 93,5 kV a 120 kV
- Frekvenční ochrana, reaguje na frekvenci:
 - spodní hranice - 47,5 Hz
 - horní hranice - 50,2 Hz

Transformátor T101 slouží pro převod napětí z hodnoty 110 kV na vedení V598 na hodnotu 22 kV na VN80, při nutnosti odpojení V598 od distribuční sítě. Napětí primárního vinutí je tedy 110 kV a sekundárního je 23 kV. Pro model byl využit stejný prvek jako pro transformátor T104, tedy BCTAN. Parametry použité pro model jsou uvedeny v následující tabulce:

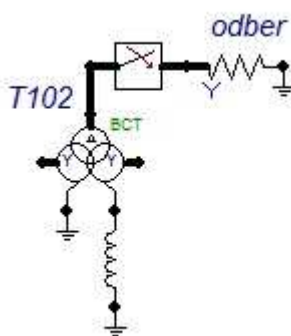
Tab. č. 5 Parametry transformátoru T101

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Numberofphases	Počet fází	-	3
Numberofwindings	Počet vinutí	-	3
Frequency	Frekvence	Hz	50
Voltage HV	Napětí vyšší	kV	110
Voltage LV	Napětí nižší	kV	23
Voltage TV	Terciární napětí	kV	6,3
Power	Výkon	MV·A	40
power TV	Výkon terciárního vinutí	MV·A	12,5
Connections	Zapojení	-	YY/D1
Open circuitCurr	Proud naprázdno	%	0,454
Open circuitLoss	Ztráty naprázdno	kW	41,4
ShortcircuitLoss HV-LV	Ztráty nakrátko	kW	206
ShortcircuitLoss HV-TV	Ztráty nakrátko	kW	47,4
ShortcircuitLoss LV-TV	Ztráty nakrátko	kW	45,3
ShortcircuitImp. HV-LV	Napětí nakrátko	%	10,78
ShortcircuitImp. HV-TV	Napětí nakrátko	%	2,1
ShortcircuitImp. LV-TV	Napětí nakrátko	%	3,62

Pro převod napětí z 22 kV na napětí rozvodny 110 kV v Července slouží transformátor T102. Transformátory T101 a T102 jsou v zapojení hvězda/hvězda s vyrovnávacím trojúhelníkem. Zdánlivý výkon trojúhelníku je 12,5 MV·A, při napětí 6,3 kV, proto je v modelech obou transformátorů na terciární vinutí připojen odpor, jehož hodnota je vypočtena ze vztahu:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{6300^2}{12,5 \cdot 10^6} = 3,2 \, \Omega \quad (4)$$

Primární vinutí je přímo připojeno na zem a sekundární vinutí je připojeno na zem přes Petersenovu tlumivku, která slouží ke kompenzaci kapacitních proudů na vedení VN80 22 kV.



Obr. č. 9 Model transformátoru T102 (T101)

Pro model transformátoru T102 byl opět použit prvek BCTRAN. Tabulka s parametry modelu:

Tab. č. 6 Parametry transformátoru T102

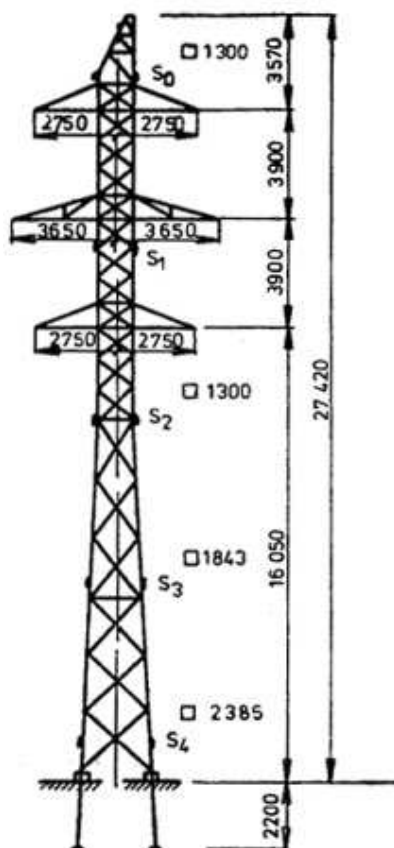
Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Numberofphases	Počet fází	-	3
Numberofwindings	Počet vinutí	-	3
Frequency	Frekvence	Hz	50
Voltage HV	Napětí vyšší	kV	110
Voltage LV	Napětí nižší	kV	23
Voltage TV	Terciární napětí	kV	6,3
Power	Výkon	MV·A	40
power TV	Výkon terciárního vinutí	MV·A	12,5
Connections	Zapojení	-	YY/D1
Open circuitCurr	Proud naprázdno	%	0,2
Open circuitLoss	Ztráty naprázdno	kW	18,9
ShortcircuitLoss HV-LV	Ztráty nakrátko	kW	206
ShortcircuitLoss HV-TV	Ztráty nakrátko	kW	47,4
ShortcircuitLoss LV-TV	Ztráty nakrátko	kW	45,3
ShortcircuitImp. HV-LV	Napětí nakrátko	%	11,11
ShortcircuitImp. HV-TV	Napětí nakrátko	%	2,2
ShortcircuitImp. LV-TV	Napětí nakrátko	%	3,8

Vedení velmi vysokého napětí 110 kV V598 má celkovou délku 15,1 km. Přenášený výkon V_{tE} je 18 MW a přenosové napětí 110 kV. Typ lana použitého pro vedení V598 je AlFe 150/25 se sedmi ocelovými a s dvaceti šesti hliníkovými lany. Jak je zakresleno na Obr. č. 1, toto vedení spojuje transformátor T104 s rozvodnou R110 v Července. Pro model vedení byl použit prvek LCC. Nutné parametry pro sestavení modelu jsou uvedeny na následující straně.

Tab. č. 7 Parametry V598

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Rho	Rezistivita země	Ωm	100
Length	Délka	km	15,1
Ph	Počet fází	-	3
Rin	Vnitřní průměr	cm	0,636
Rout	Vnější průměr	cm	1,696
Resis	Stejnoseměrný měrný odpor	Ω/km	0,199
Vtower	Výška věže	m	23,8

Do výpočtu bylo zvoleno zohlednění povrchového jevu. Vedení není transponované. Vedení je zavěšeno na stožárech typu soudek. Následující obrázek převzat z [4].



Obr. č. 10 Stožár 110 kV soudek-nosný

Vedení VN80 spojuje transformátor T101 a rozvodnu R22 Červenka 22 kV. Toto vedení je použito pro spojení VtE s rozvodnou R110 v Července při plánované odstávce vedení V598. Jedná se o vedení 22 kV. Požítým lanem je AlFe 6 s průřezem 120 mm². Parametry modelu jsou následující:

Tab. č. 8 Parametry VN80

Označení v ATP	Veličina	Jednotka	Hodnota
Rho	Rezistivita země	Ωm	100
Length	Délka	km	16
Ph	Počet fází	-	3
Rin	Vnitřní průměr	cm	0,256
Rout	Vnější průměr	cm	1,565
Resis	Stejnoseměrný měrný odpor	Ω/km	0,234
Vtower	Výška věže	m	12

Do výpočtu byl opět zahrnut vliv povrchového jevu. Jako typ modelu byl v obou případech zvolen frekvenčně závislý model Bergeron.

Jako vypínače s možností opětovného zapnutí (OZ) slouží v modelu dva paralelně zapojené časově řízené třífázové ideální spínače. První spínač je sepnut v čase -1 sekunda, tedy již před započítáním simulace, až do chvíle kdy nastává změna v zapojení. Pro opětovné zapnutí slouží druhý spínač. Prodleva mezi vypnutím a opětovným zapnutím je 400 ms. Tyto spínače se chovají jako vypínače střídavého proudu, tedy aby došlo k vypnutí, musí nejprve dojít k průchodu přirozenou nulou proudu. Pro dosažení odpojení části vedení, dle řešeného případu, od napětí, musí tato dvojice spínačů být umístěna na začátek i konec vedení.

Člen představují napájecí síť, je ideální zdroj napětí s frekvencí 50 Hz a amplitudou 89815 V, hodnota amplitudy bylo vypočtena z hodnoty sdruženého napětí 110 kV:

$$U = 110 = \frac{110}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} = 89,815 \text{ kV} \quad (5)$$

Za zdrojem je umístěna reaktance, představující zkratovou reaktanci soustavy. Zkratový příspěvek R110 Červenka je $S_k = 1372,3 \text{ MV} \cdot \text{A}$. Hodnota reaktance byla vypočtena z následujícího vztahu:

$$Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 110^2 \cdot 10^3}{1372,3 \cdot 10^6} = 9,7 \text{ } \Omega \quad (6)$$

Modely řešených případů dále obsahují třífázové měřící sondy proudu a napětí. Pro první dva případy je využit model zemního zkratu, který je složen s jednofázového spínače a odporu představujícího nedokonalý zkrat. Hodnota odporu byla určena pomocí vlnové impedance vedení. Hodnota indukčnosti byla vypočtena pomocí měrné reaktance vedení $X_k = 0,417 \text{ } \Omega \cdot \text{km}^{-1}$

$$L = \frac{X_k}{2\pi f} = \frac{0,417}{2\pi \cdot 50} = 1,326 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \quad (7)$$

Kapacita vedení lze vypočítat z parametrů stožáru na Obr. č. 10, na kterém je vedení zavěšeno. Hodnota kapacity se vypočte ze vztahu:

$$C_k = \frac{0,0242}{\log\left(\frac{d_s}{r} \cdot \frac{2m}{D_s}\right)} = \frac{0,0242}{\log\left(\frac{5}{8,5 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{2 \cdot 19,6}{39,7}\right)} = 8,75 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1} \quad (8)$$

Hodnota vlnové impedance je pak:

$$Z_V = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1,326 \cdot 10^{-3}}{8,75 \cdot 10^{-9}} = 389 \, \Omega \quad (9)$$

Přirozenému výkonu pak odpovídá hodnota 31 MW. Aby hodnota proudu při poruše byla dostatečně velká, aby zareagovaly ochrany, byla hodnota odporu zemního zkratu zvolena 58,4 Ω . Odpor je pak již připojen k zemi, jak je zobrazeno na Obr. č. 11. Porucha vznikne v polovině vedení V598. Tato porucha představuje událost, která zapříčiní vypnutí vedení v prvním a druhém případě.

Rozbor zkoumaných případů

Prvním případem je, že na vedení V598 došlo k vypnutí jedné fáze a její následnému zapnutí pomocí systému OZ. V obvodu nastane jednofázová porucha, zemní zkrat na fázi A v polovině vedení V598, na tento stav zareaguje ochrana a fáze A, je jednofázovým vypínačem vypnuta. Za čekací prodlevu 400 ms zareaguje systém opětovného zapnutí, který znovu zapne vypnutou fázi A zpět do sítě. Po zapnutí ochrany nereagují, což znamená, že porucha na dané fázi již odezněla a obvod je znovu funkční. Při tomto procesu dojde k několika přechodným dějům a jejich vliv na VtE a rozvodnu R110 Červenka je předmětem analýzy.

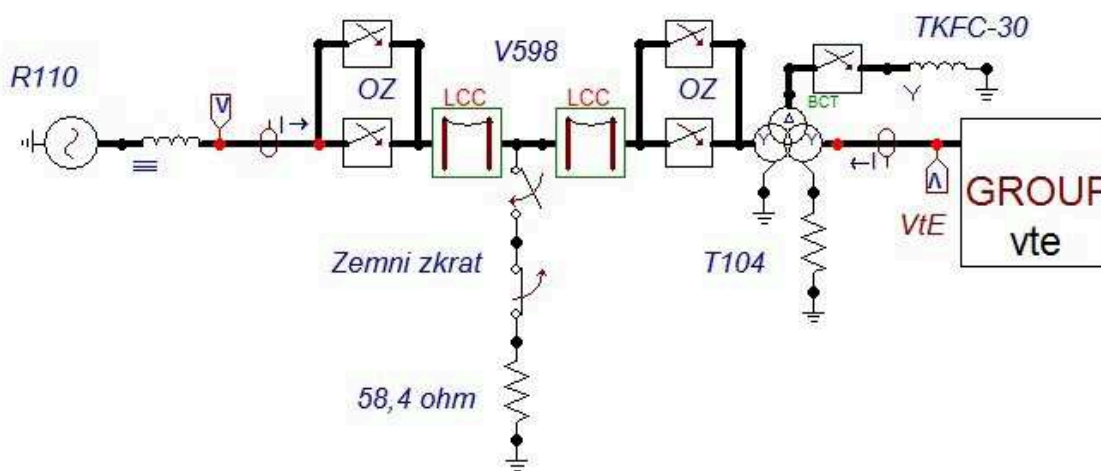
Druhý řešený případ je obdoba prvního případu. Tentokrát ochrana zareaguje na poruchu tak, že vypne všechny tři fáze a tím odpojí celé vedení V598 od distribuční sítě. V tomto stavu se větrná farma dostane do ostrovního režimu, proto zareagují frekvenční ochrany a za dobu 50 ms od odpojení V598 dojde k vypnutí VtE včetně transformátoru T104. Za čekací dobu 400 ms je vedení V598 znovu zapojeno do sítě, ale VtE zůstává v beznapětovém stavu.

Třetím případem je plánované odstávka vedení V598. VtE je před odstávkou propojena pomocí vedení VN80 přes transformátory T101 a T102. VtE je tedy připojena přes transformátor T104 k transformátoru T101, který transformuje napětí na 22 kV. T101 je pomocí vedení VN80 připojeno na transformátor T102, který je již připojen na rozvodnu R110 Červenka. Využití 100 % výkonu větrných elektráren je přibližně 20 % ročně. Proto ve třetím případě je výkon větrných elektráren snížen na 50 %. Během simulace dojde k jediné změně zapojení a to v čase 4 sekundy dojde k odpojení vedení V598 a celý výkon VtE je přenášen pomocí vedení VN80. Vliv přechodných jevů je opět sledován pro VtE a rozvodnu R110 Červenka.

Řešení zkoumaných případů

První případ

Model sítě pro první analyzovaný případ, tedy pro úspěšné jednofázové opětovné zapnutí na V598. Model je sestaven z devíti generátorů a každý z nich má vlastní transformátor 0.69/31,5 kV, které jsou v reálných turbínách umístěny v gondole. V modelu jsou generátory sdruženy do bloku VtE, umístěném v pravé části schématu.



Obr. č. 11 Schéma modelu sítě pro první případ

Pro zjištění průběhů proudů a napětí jsou za větrnou farmou umístěny třífázové sondy proudu a napětí. Následuje model transformátoru T104, za nímž je umístěn spínač s funkcí opětovného zapnutí. Model vedení V568 je rozdělen na dvě části, každá část představuje 7,55 km vedení V598. Mezi tyto části je umístěna jednofázová porucha.

K fázi A jsou připojeny dva jednofázové spínače představující poruchu. V čase 3,9 sekundy dojde ke spojení fáze A, přes nedokonalý styk ($58,4 \Omega$), se zemí. Vznikne jednofázový zkrat. Druhý spínač se rozezne v čase 4,1 sekundy, představující obnovení izolační pevnosti mezi zemí a fází.

Vedení V598 je vypnuto pomocí vypínačů OZ umístěnými na obou koncích vedení. Před opětovným zapnutím je nastavena na vypínačích časová prodleva 400 ms. Po prodlevě je poškozená fáze opět připojena do napájecí sítě.

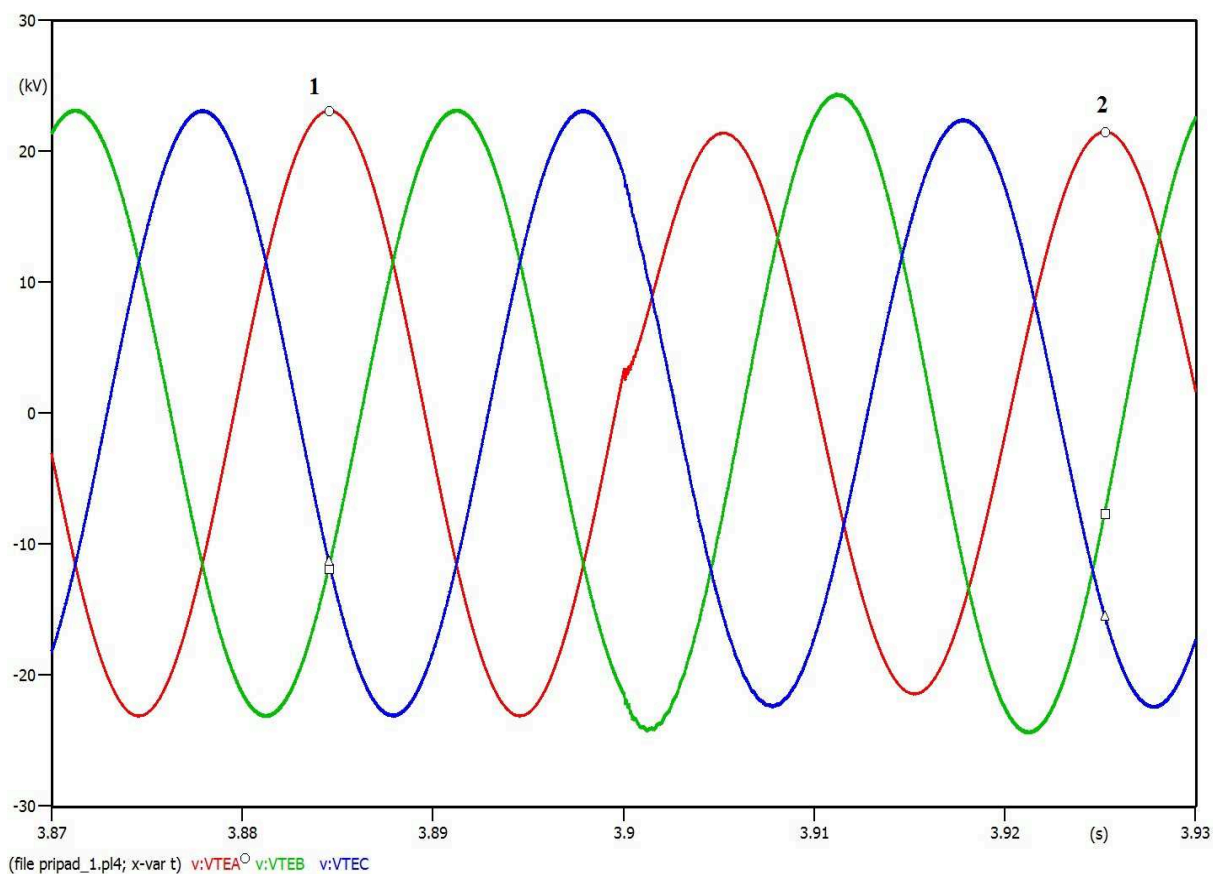
Před rozvodnou R110 Červenka, která se skládá z ideálního zdroje napětí a zkratové reaktance, jsou opět umístěny měřicí sondy proudu a napětí, pro zjištění potřebných průběhů.

Celková doba simulace byla nastavena na 10 s. První tři sekundy se rozbíhají generátory na svou jmenovitou rychlost při jmenovitém skluzu. Tento proces není předmětem analýzy. Prvním důležitým stavem v simulaci je vznik poruchy na vedení V598, která vznikne v čase 3,9 sekundy. Průběh simulace se tedy skládá z následujících kroků:

- Před samotným spuštěním jsou v čase -1 sekunda spuštěny zdroje momentu na hřídelích generátorů a zdroj napětí 110 kV představující tvrdou napájecí síť.
- V čase 3,9 sekundy je sepnut spínač s názvem Zemní zkrat, který je připojen na rozdělovač k fázi A vedení V598 a nedokonalý zemní zkrat (58,4 Ω).
- V čase 4 sekundy je fáze A vedení V598 vypnuta pomocí vypínačů OZ, které jsou umístěny na obou koncích vedení V598.
- V čase 4,1 sekundy je spínač Zemní zkrat vypnut a dojde k obnovení izolační pevnosti mezi fází A a zemí, což znamená odeznění poruchy na vedení V598.
- V čase 4,4 sekundy je fáze A vedení V598 opět připojena pomocí vypínačů OZ zpět k distribuční síti.

Po proběhnutí simulace programem EMTP-ATP, lze výsledné průběhy zobrazit pomocí programu PlotXY. Pro přehlednost bude pro každý podstatný krok simulace zobrazen detail průběhu napětí a proudu, vždy v místě VtE a následně v rozvodně R110 Červenka. Podstatnými kroky simulace je myšleno stavy, při nichž vznikají změny ve sledovaných průbězích. Prvním takovým krokem je tedy vznik poruchy, dále odpojení fáze A na vedení V598 a následně připojení fáze A. Následující grafy jsou vytvořeny a uloženy pomocí programu PlotXY.

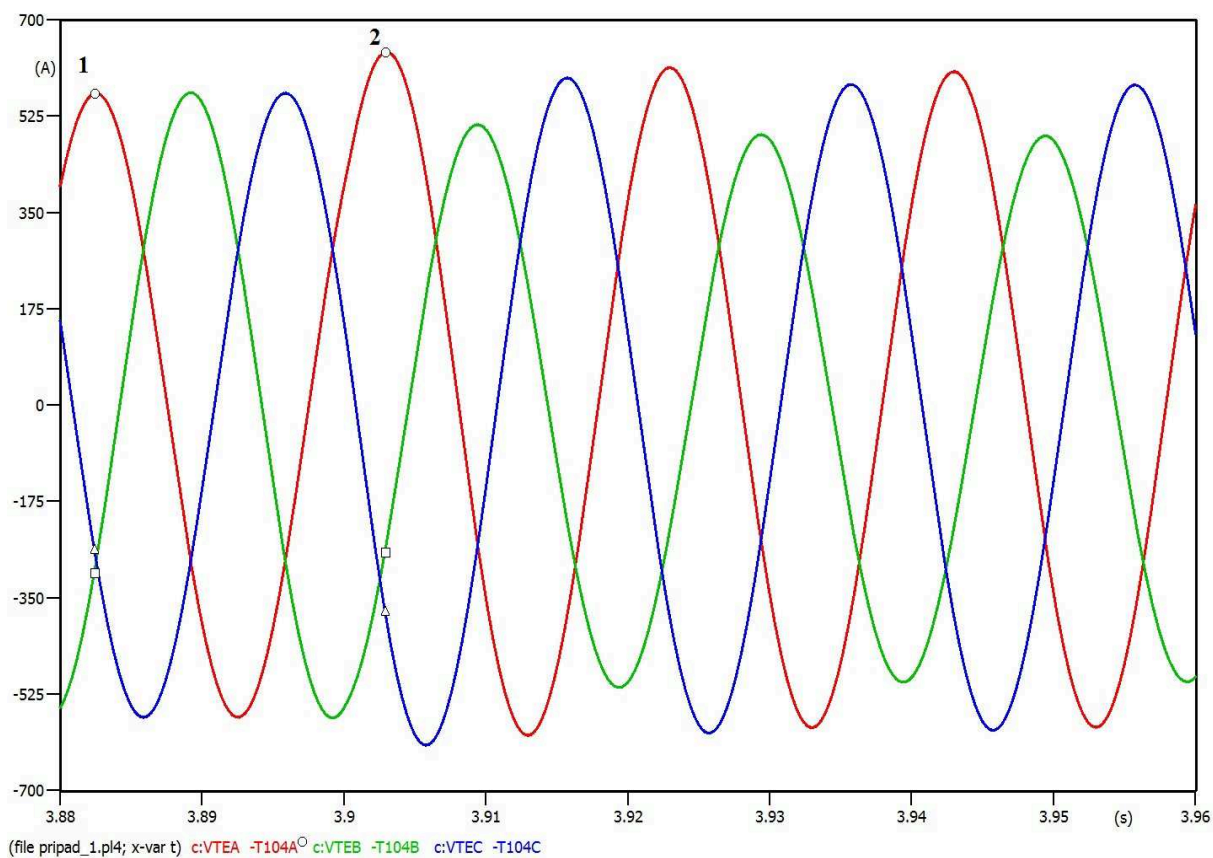
Prvním průběhem je tedy graf napětí V_{tE} v době kdy nastane porucha na fázi A.



Obr. č. 12 Průběh napětí V_{tE} , detail poruchy, první případ

Při normálním provozu jsou fáze symetrické a amplituda fáze A, která je v obrázku označena číslem 1, je 23116 V. Po vzniku zemního zkratu na fázi A na vedení V598 dojde ke zmenšení amplitudy, která má v bodě 2 hodnotu 21492 V. Nesymetrie je způsobena rozdílnými odběry výkonu v každé fázi. Při normálním provozu je energie z V_{tE} přenášena do rozvodny R110 Červenka, při zkratu na fázi A je energie dodávána jak V_{tE} , tak rozvodnou.

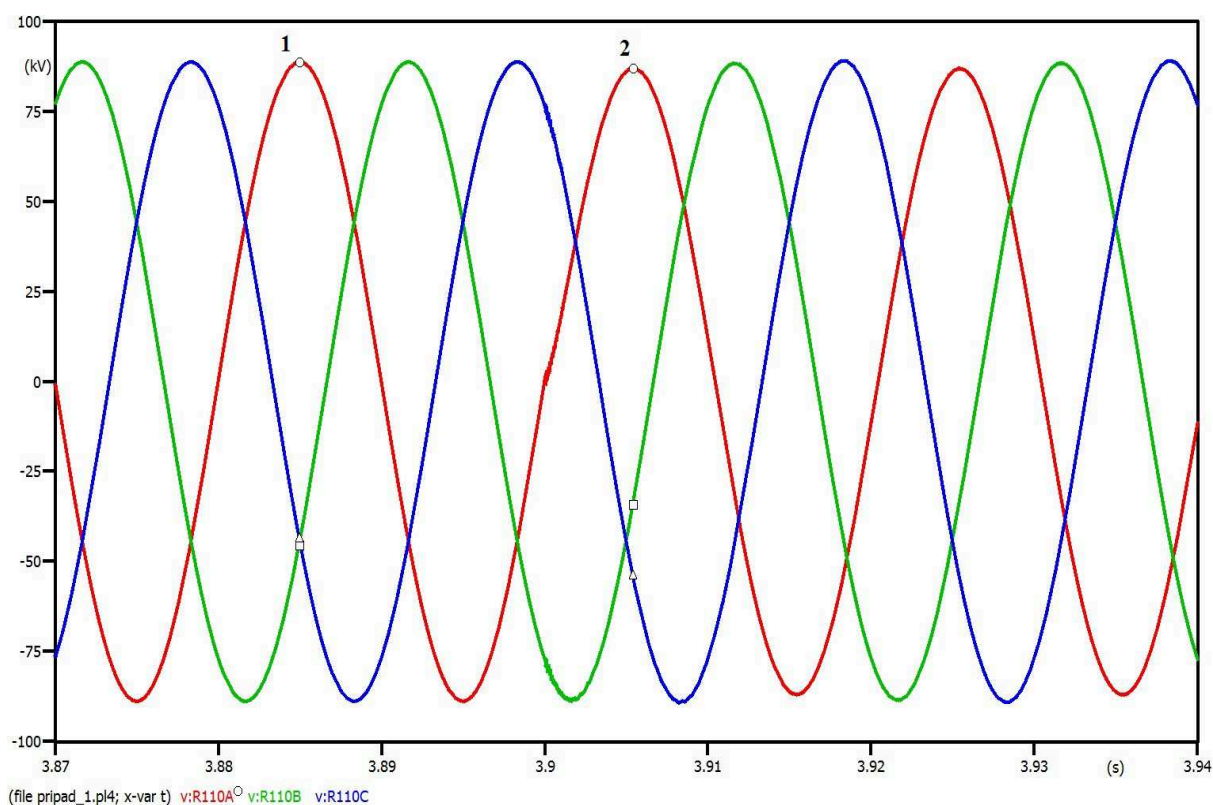
Průběh na Obr. č. 13 zachycuje změny proudu na VtE při vzniku poruchy.



Obr. č. 13 Průběh proudu VtE, detail poruchy, první případ

Před zkratem má amplituda fáze A hodnotu 567 A, tento bod je v grafu označen jako 1. Při zkratu vzroste amplituda proudu na 642 A a dojde i k fázovému posunu jak proudu, tak i napětí, protože zkrat má charakter odporu, kdyžto zbylé dvě fáze prochází celým vedením V598, které má svou indukčnost a kapacitu.

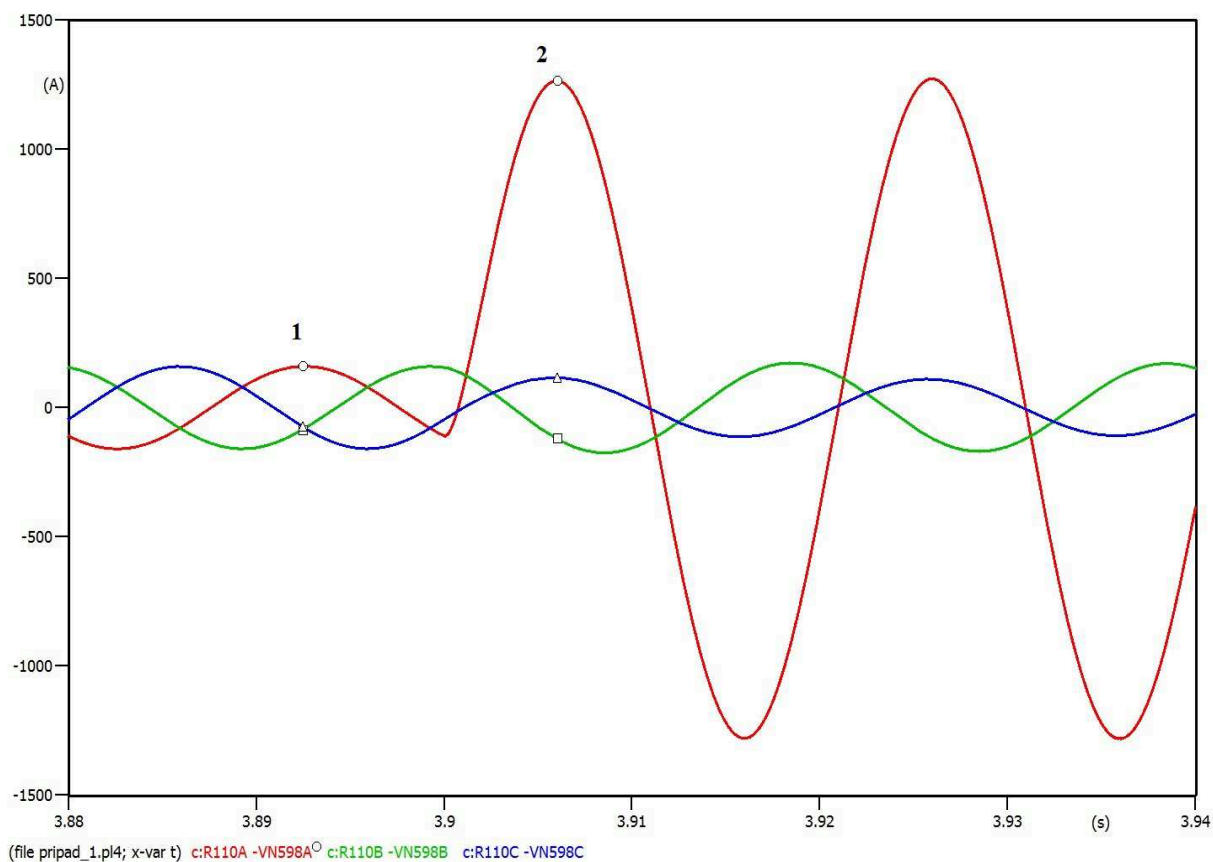
Následující průběh zobrazuje napětí v rozvodně R110 Červenka v čase 3,9 sekundy, kdy dojde k poruše na fázi A.



Obr. č. 14 Průběh napětí R110 Červenka, detail poruchy, první případ

Porucha na vedení zapříčiní nesymetrii a fázový posun, Hodnota amplitudy fáze A před zkratem byla 88779 V a při poruše v místě 2 je 86946 V. Napětí poklesne přibližně o 2 %. Rozdíl není velký, protože se jedná o tvrdou napájecí síť.

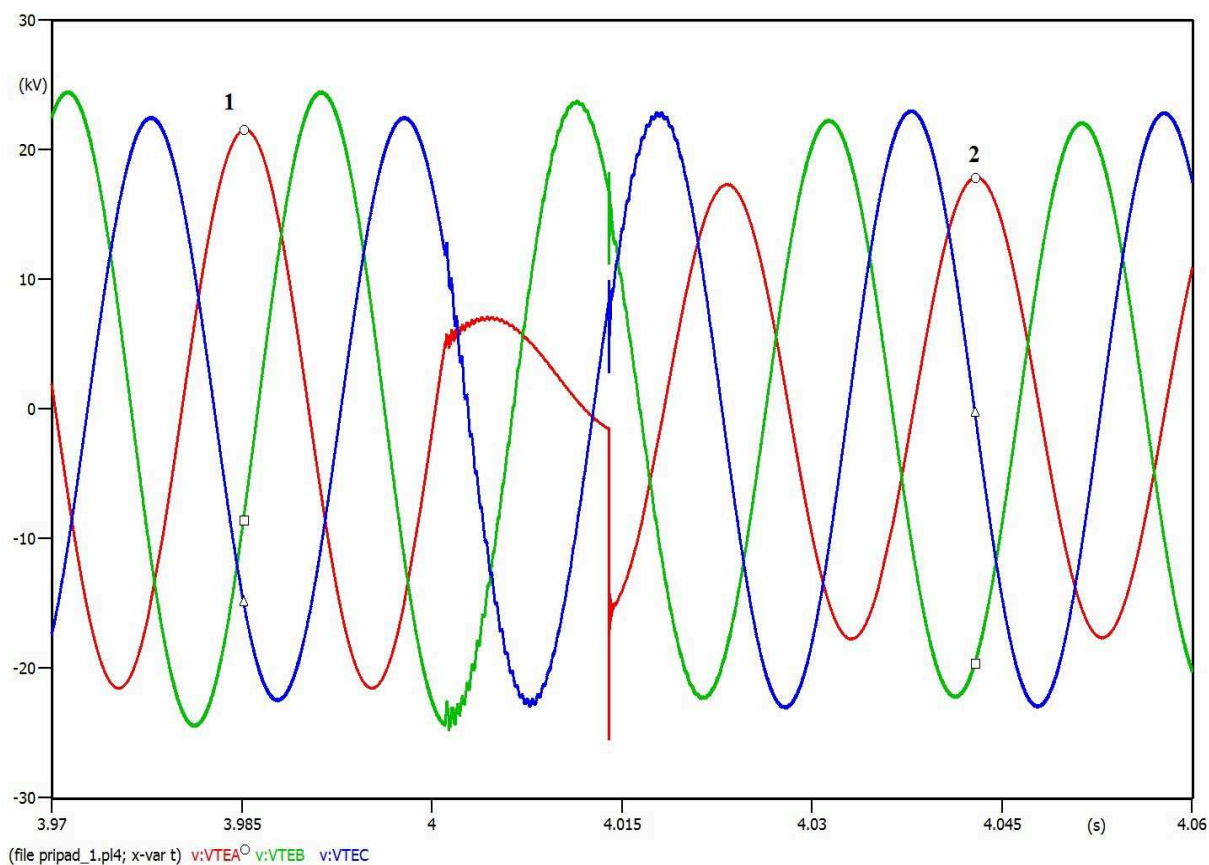
Průběh proudu R110 Červenka v čase 3,9 sekundy, při poruše fáze A.



Obr. č. 15 Průběh proudu R110 Červenka, detail poruchy, první případ

Amplituda fáze proudu A v bodě 1 dosahuje hodnoty 160 A. V bodě 2 proud prochází polovinou vedení V598 a poté stéká do země před odpor 58,4 Ω . Ve druhém bodě je hodnota amplitudy 1265 A. Na tuto hodnotu musí reagovat nadproudové ochrany a vypnout poškozenou fázi.

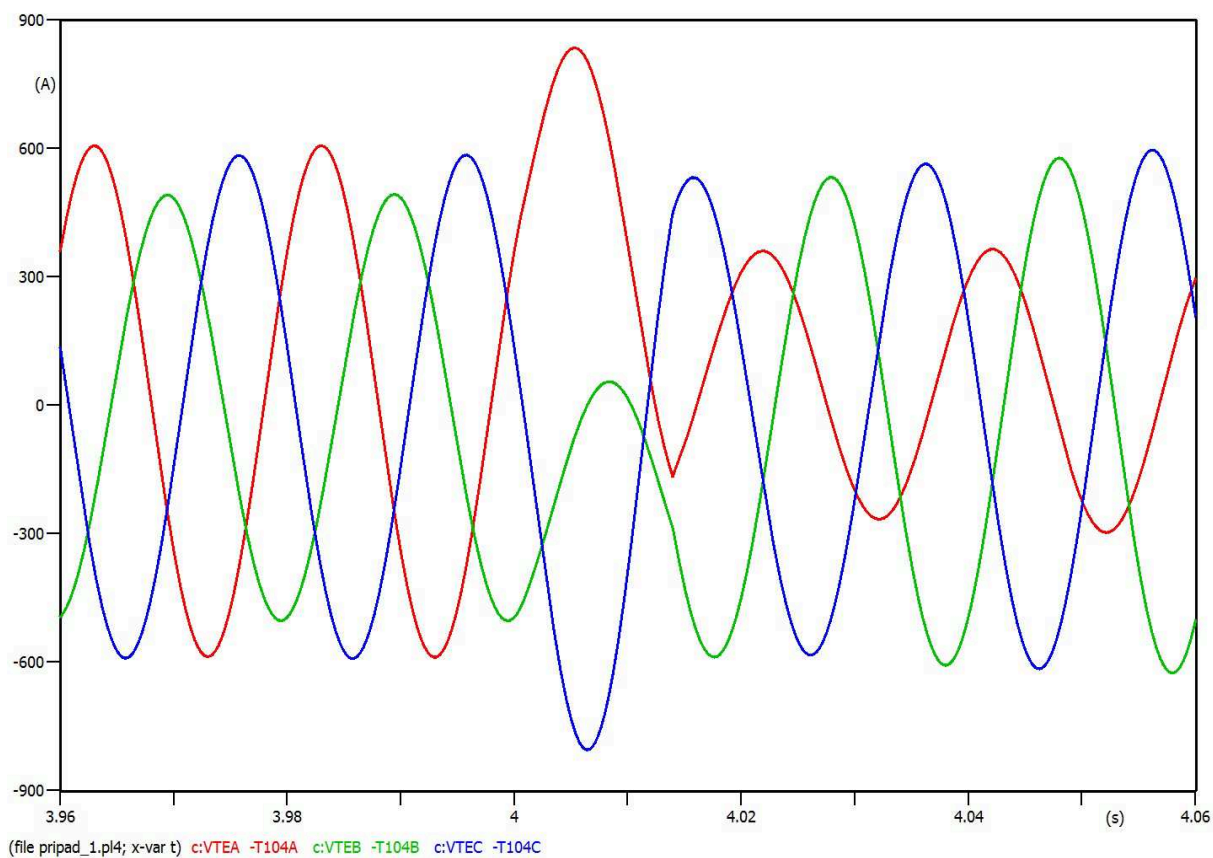
Průběh napětí VtE při odpojení fáze A vedení V598 v čase 4 sekundy.



Obr. č. 16 Průběh napětí VtE, detail odpojení, první případ

Vypínače zareagují v čase 4 sekundy a mezi kontakty začne hořet elektrický oblouk, k přerušení proudu dojde při příchodu přirozené nuly. V čase 4,001 sekundy je fáze A vypnuta vypínačem OZ umístěným za rozvodnou R110 Červenka. Rozvodna v Července přestane dodávat energii do místa zkratu. V tomto okamžiku nastane prudký pokles napětí na VtE, protože ta je stále připojena k poškozené fázi. V čase 4,015 sekund vypne poškozenou fázi vypínač umístěný před transformátorem T104 a tím ji zcela odpojí od distribuční sítě. Po vypnutí poruchy je energie přenášena pomocí transformátoru v zapojení YY přes dvě zbývající fáze vedení V598. V bodě 1 je velikost amplitudy napětí 21543 V a v bodě 2 klesne na 21492 V.

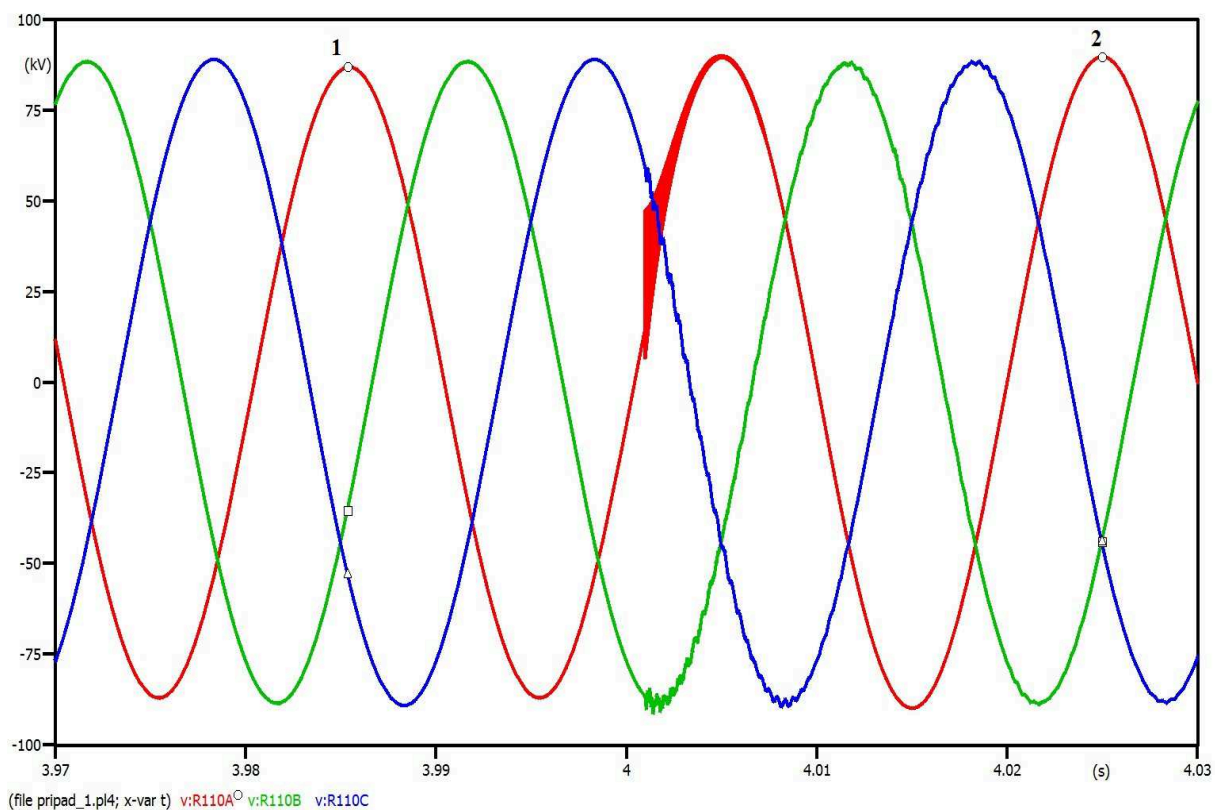
Průběh proudu VtE při odpojení poškozené fáze.



Obr. č. 17 Průběh proudu VtE, detail odpojení, první případ

Podle událostí popsanych u předchozího průběhu se chová i proud VtE. Po odpojení rozvodny R110 Červenka je VtE připojena ke zkratu, proto nastane nárůst proudu až do doby kdy je od poškozeného místa odpojena i VtE v čase 4,015 sekundy.

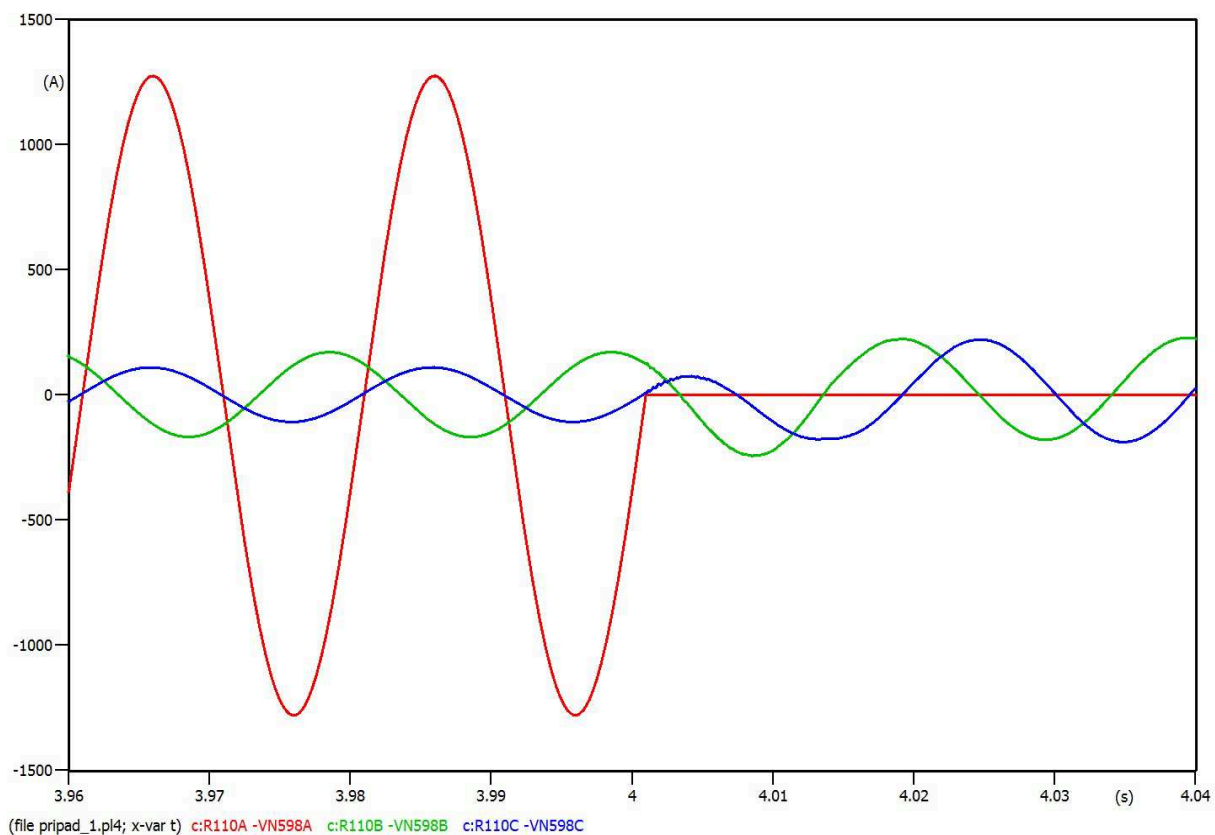
Průběh napětí, R110 Červenka v době odpojení fáze A.



Obr. č. 18 Průběh napětí R110 Červenka, detail odpojení, první případ

Po odpojení poruchy se napětí zvýší na hodnotu 89815 V v bodě 2. Kmity vzniklé při odpojení jsou způsobeny díky reaktanci soustavy a skokovou změnou proudu při vypnutí.

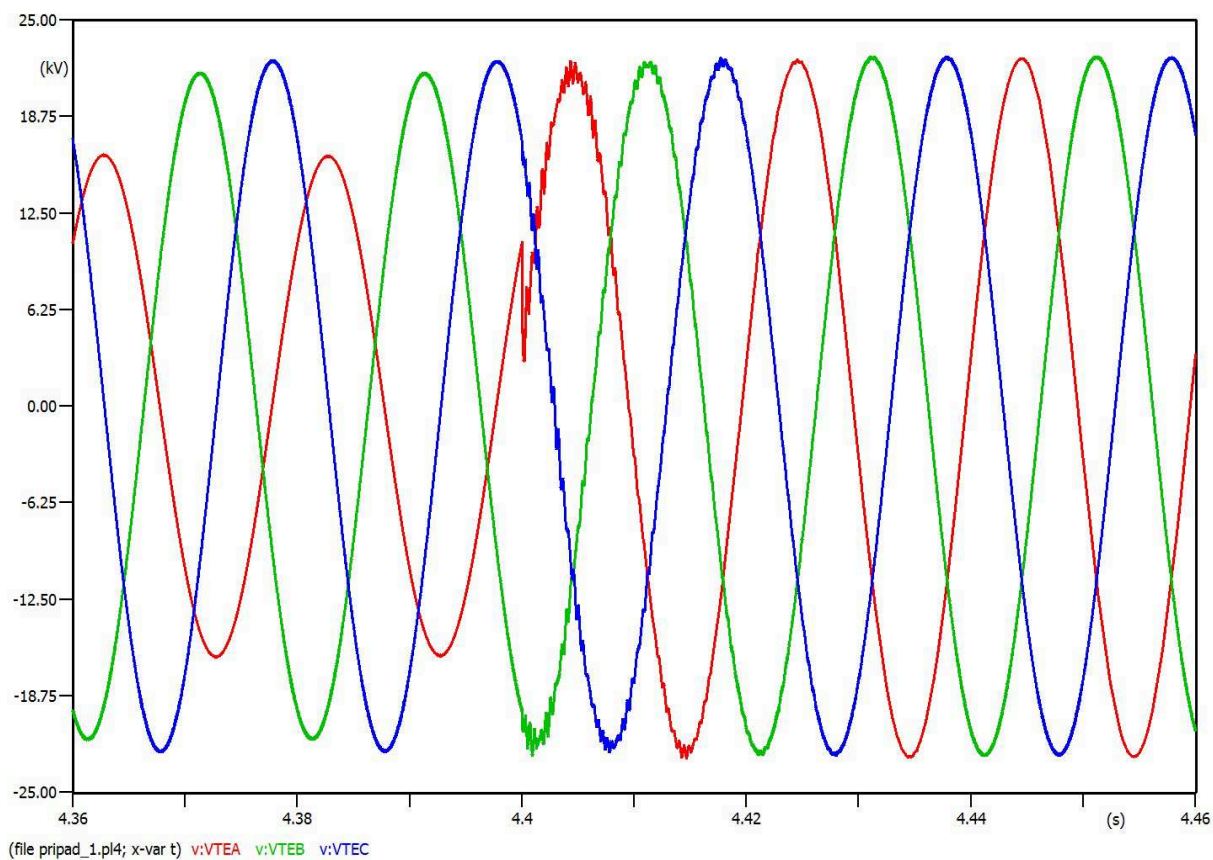
Průběh proudu R110 během odpojení fáze A od distribuční sítě.



Obr. č. 19 Průběh proudu R110 Červenka, detail odpojení, první případ

Po vypnutí fáze A v čase 4,001 sekundy je hodnota amplitudy fází B a C 222 A. Hodnota amplitud v bezporuchovém stavu je 160 A. Nárůst proudu vzniká, protože energie vytvořená pomocí VtE je přenášena jen dvěma fázemi.

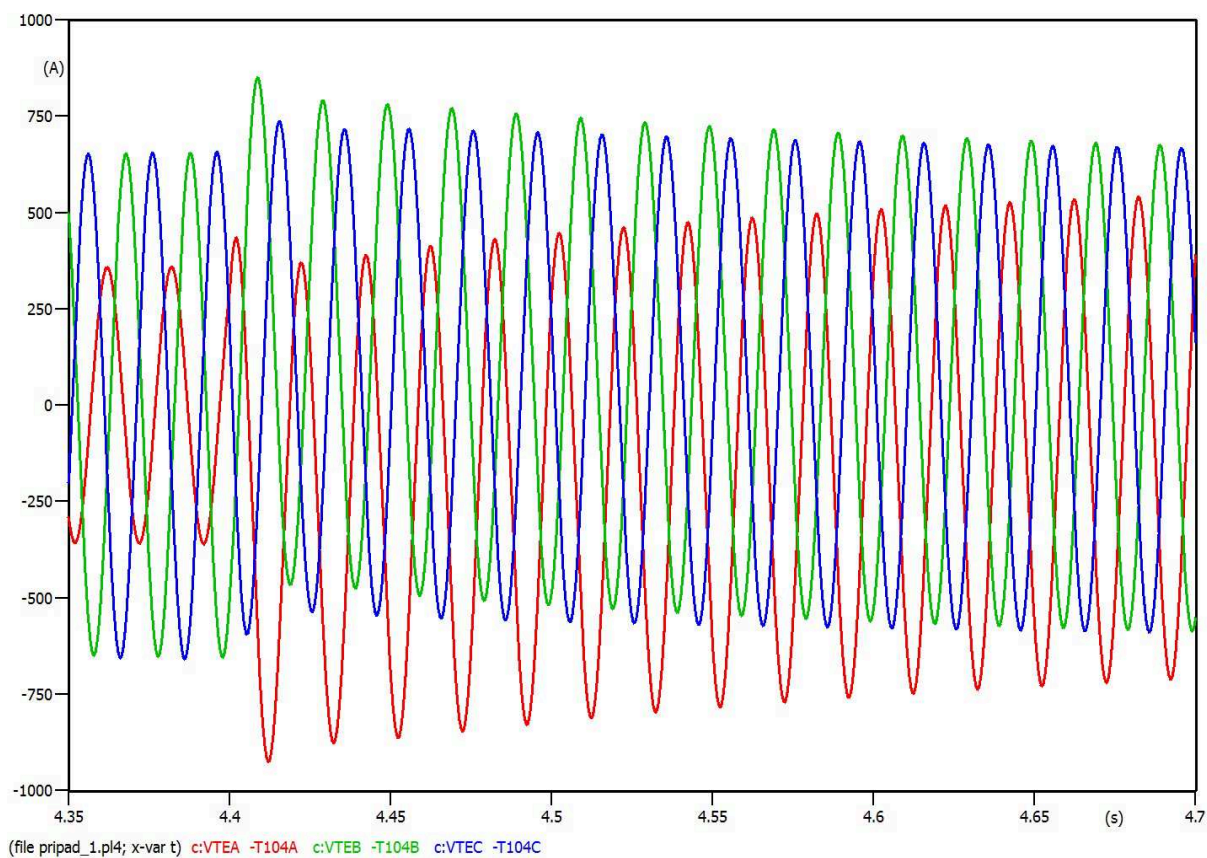
Průběh napětí V_{tE} v posledním kroku, při znovu zapojení fáze A do distribuční sítě.



Obr. č. 20 Průběh napětí V_{tE} , detail připojení, první případ

Po připojení vedení se napětí ustálí na původní hodnotě. Fázový posun je opět 120° elektrických mezi každou fází.

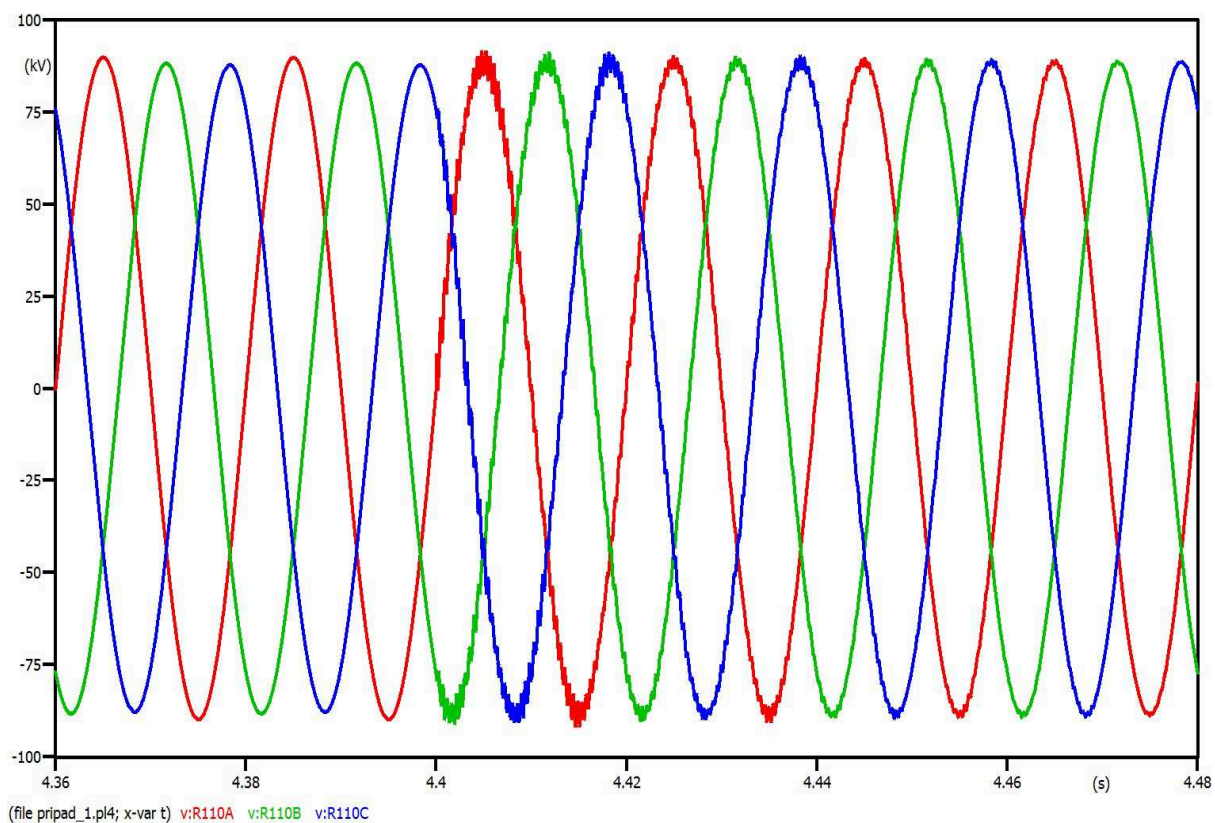
Průběh proudu VtE v době 4,4 sekundy, během zapínání fáze A.



Obr. č. 21 Průběh proudu VtE , detail připojení, první případ

Při spínání vzniká přechodná stejnosměrná složka proudu, jejíž velikost závisí na době sepnutí. Doba ustálení závisí na velikosti časové konstanty $\tau = L/R$.

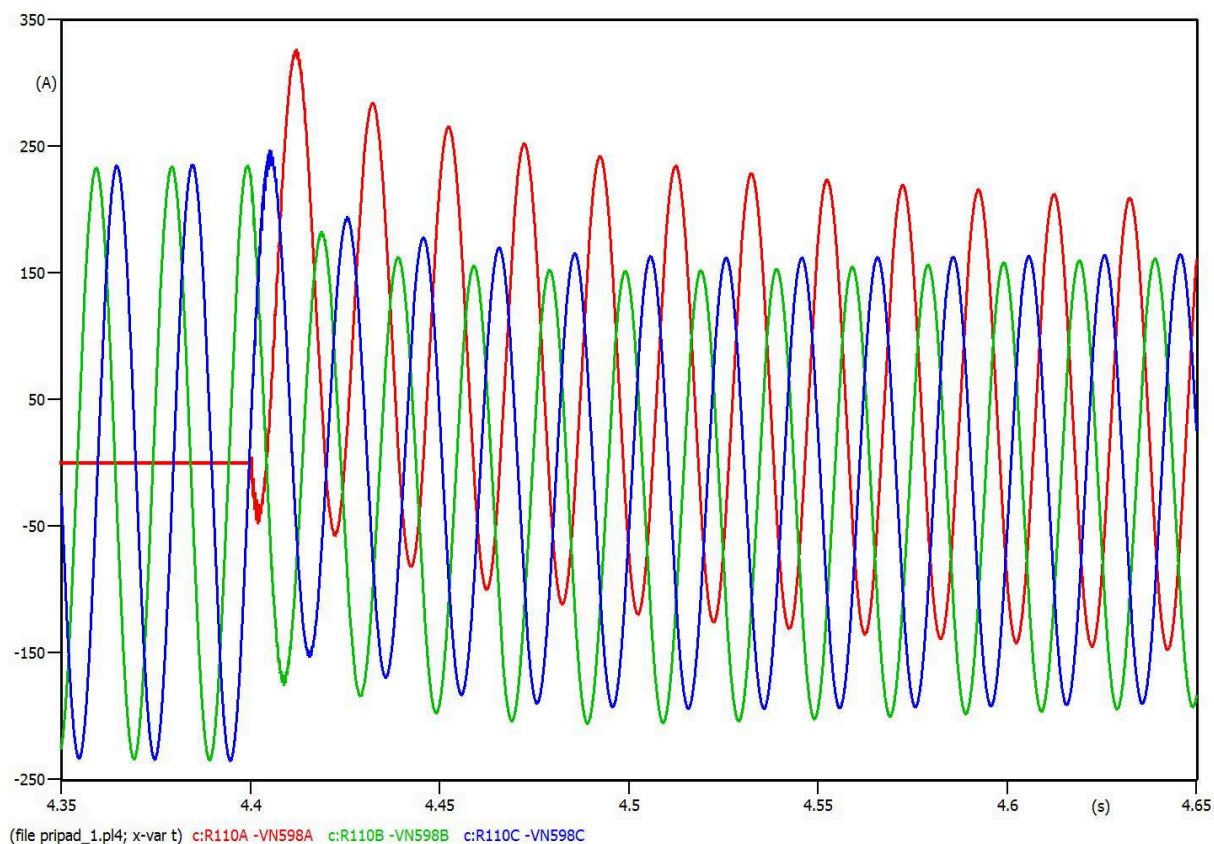
Průběh napětí R110 Červenka při zapojení fáze A.



Obr. č. 22 Průběh napětí R110 Červenka, detail připojení, první případ

Při zapnutí fáze A se po ustálení vrátí napětí rozvodny na původní hodnoty. Kmity jsou opět vyvolány rychlou změnou proudů v obvodu.

Průběh proudu R110 Červenka v čase 4,4 sekundy při opětovném zapnutí fáze A.

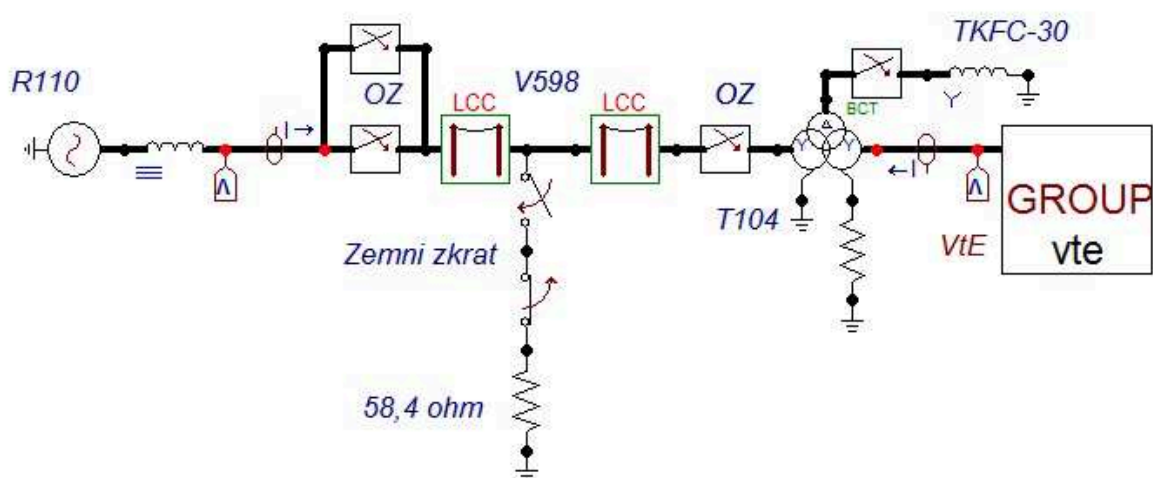


Obr. č. 23 Průběh proudu R110 Červenka, detail připojení, první případ

Jako v případě proudu VtE vzniká přechodná stejnosměrná složka, která odezní za dobu přibližně tři τ .

Druhý případ

Tentokrát je zkoumán stav, při němž dojde k úplnému odpojení vedení V598 pomocí vypínačů OZ, které jsou nastaveny tak, aby vypnuli postupně každou fázi po průchodu přirozenou nulou. Větrné elektrárny jsou při odpojení odříznuty od distribuční sítě. Při takovém stavu musí být vypnuty všechny zdroje, které by pracovaly v ostrovním režimu. Přibližná doba pro znovu zapojení VtE do sítě je 10 minut. Během simulace tedy nedojde ke znovu zapojení, proto v modelu pro druhý případ není potřeba paralelního spínače pro funkci OZ umístěným před transformátorem T104, který by VtE znovu připojil. Zdroje momentů generátorů jsou vypnuty 50 ms po odpojení VtE od sítě. Zbylé části modelu jsou stejné včetně jednofázové poruchy vzniklé na vedení.



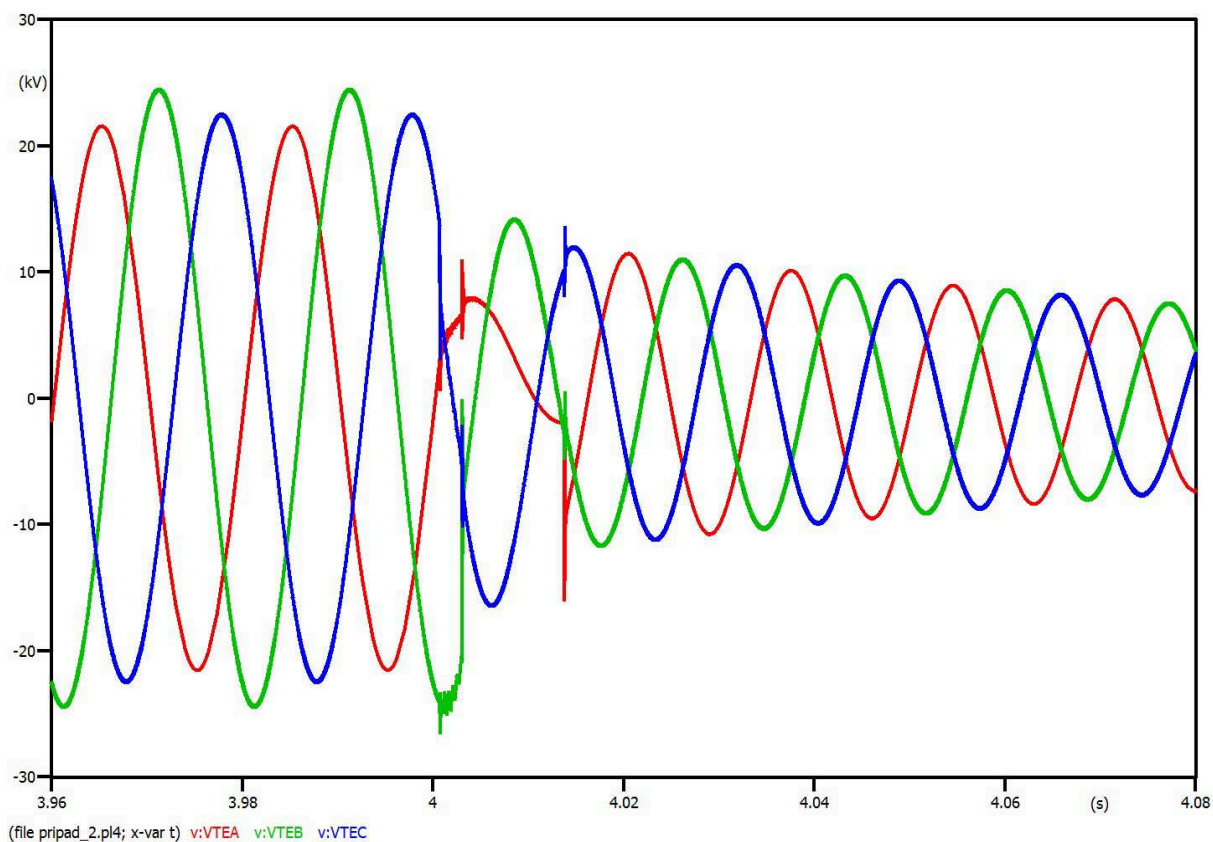
Obr. č. 24 Schéma modelu pro druhý případ

Průběh simulace má opět délku 10 sekund a první změna v zapojení nastává až po rozběhu generátorů. Kroky simulace pro tento případ:

- V čase -1 sekunda jsou spuštěny zdroje momentu na hřídelích generátorů a zdroj napětí 110 kV představující tvrdou napájecí síť.
- V čase 3,9 sekundy je sepnut spínač s názvem Zemní zkrat, který je připojen na rozdělovač k fázi A vedení V598 a nedokonalý zemní zkrat ($58,4 \Omega$).
- V čase 4 sekundy je vedení V598 odpojeno od rozvodny R110 i VtE pomocí vypínačů OZ, které jsou umístěny na obou koncích vedení V598.
- V čase 4,05 sekundy jsou vypnuty zdroje momentu ve VtE.
- V čase 4,1 sekundy je spínač Zemní zkrat vypnut a dojde k obnovení izolační pevnosti mezi fází A a zemí, což znamená odeznění poruchy na vedení V598.
- V čase 4,4 sekundy je vedení V598 opět připojeno k rozvodně R110 Červenka pomocí vypínače OZ mezi R110 a V598, vypínač před transformátorem T104 zůstává ve vypnutém stavu.

Průběhy proudu a napětí v rozvodně R110 Červenka i VtE jsou před i během vzniku poruchy totožné s předchozím případem, protože se jedná o stejnou poruchu ve stejném místě a čase. Grafy napětí a proudu pro VtE lze vidět na Obr. č. 12 a Obr. č. 13. Průběhy napětí a proudu rozvodny R110 Červenka pro dobu vzniku poruchy lze vidět na Obr. č. 14 a Obr. č. 15. V následujícím kroku, tedy při odpojení poruchy, jsou již průběhy odlišné od prvního případu. Grafy byly opět vytvořeny programem PlotXY.

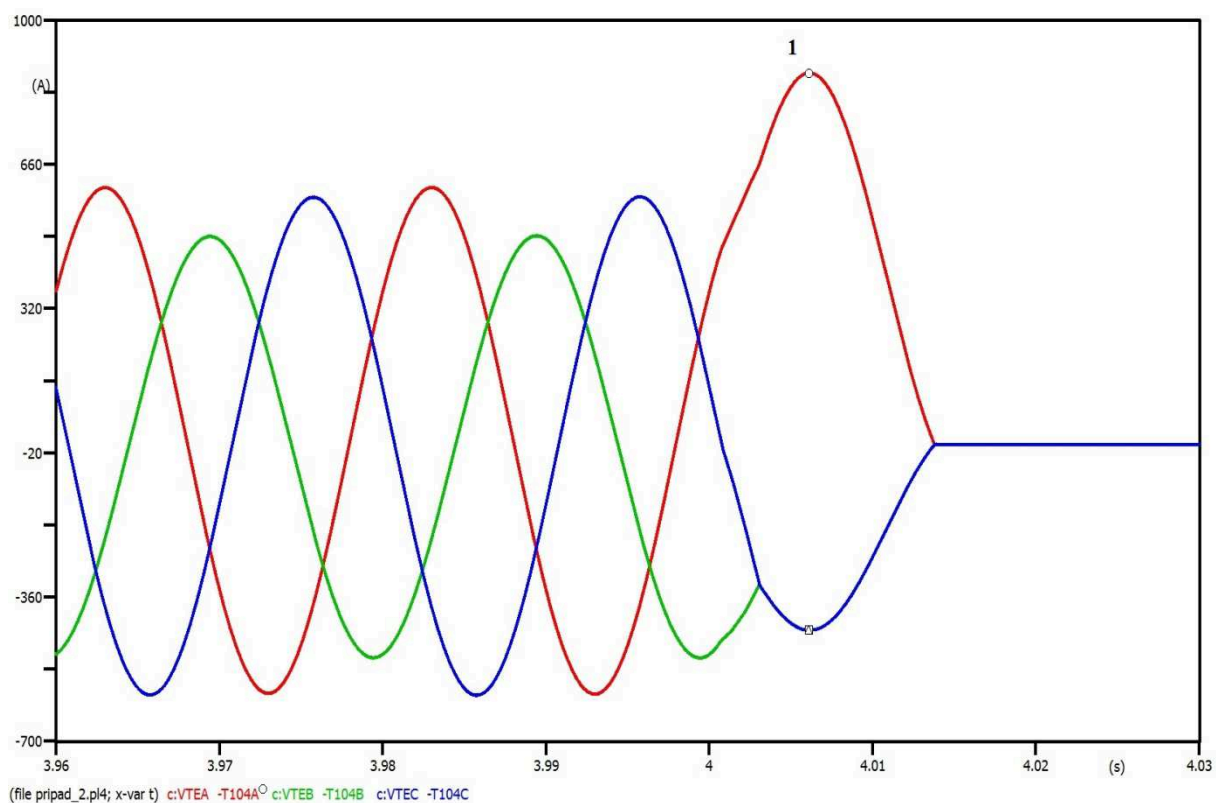
Průběh napětí VtE při odpojení vedení V598 v čase 4 sekundy.



Obr. č. 25 Průběh napětí VtE, detail odpojení, druhý případ

Při odpojování vedení V598 je nejprve vypnut musí každé fáze na obou vypínačích projít přirozenou nulou proudu, aby mohly být vypnuta. Nejprve jsou vypnuty fáze A a C u rozvodny R110 Červenka, následně je vypnuta fáze B ve stejném místě. V tomto stavu již VtE pracuje v ostrovním režimu a dodává energii do zkratu. V čase 4,015 sekundy je VtE odpojena od vedení V598. VtE nesmí pracovat v ostrovním režimu proto je v čase 4,05 sekundy vypnuta.

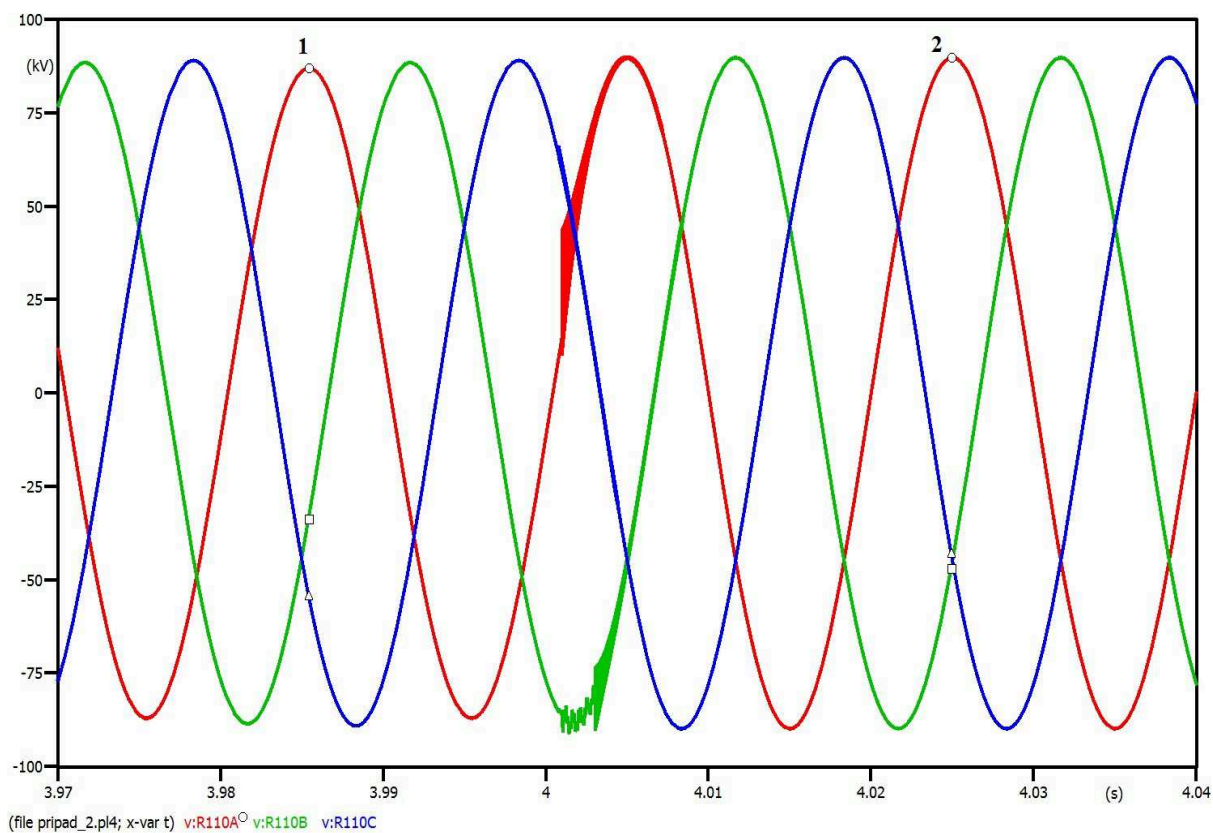
Průběh proudu VtE při odpojení V598.



Obr. č. 26 Průběh proudu VtE, detail odpojení, druhý případ

Při odpojení R110 Červenka od V598 se proud VtE zvedne v bodě 1 na hodnotu 877 A pro první fázi. Následně je i VtE odpojena od zemního zkratu a proud klesne na nulu.

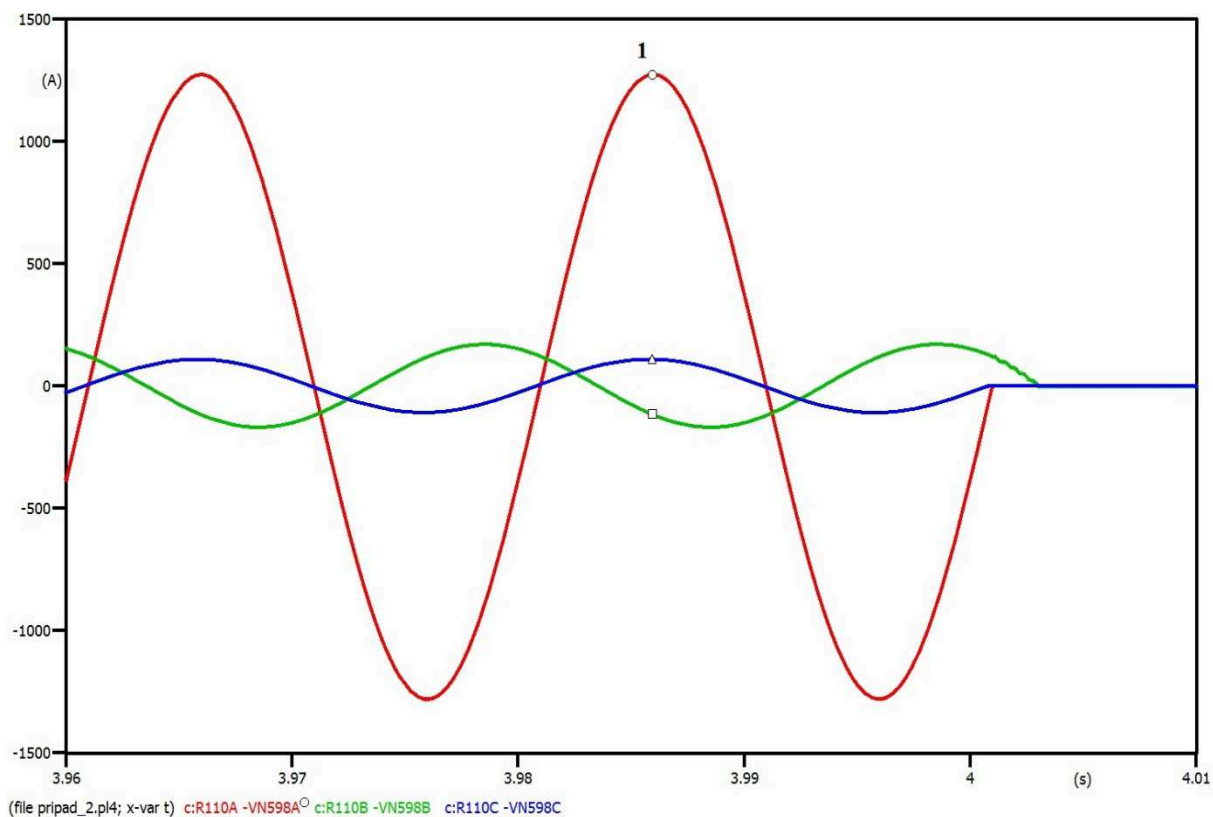
Graf napětí na rozvodně R110 Červenka při odpojení V598.



Obr. č. 27 Průběh napětí R110 Červenka, detail odpojení, druhý případ

Hodnota napětí při poruše je stejná jako v předchozím případě 86987 V v bodě 1. Po odpojení vedení V598 od rozvodny již nevznikají žádné úbytky napětí a hodnota amplitudy se ustálí na nastavené hodnotě zdroje 89815 V.

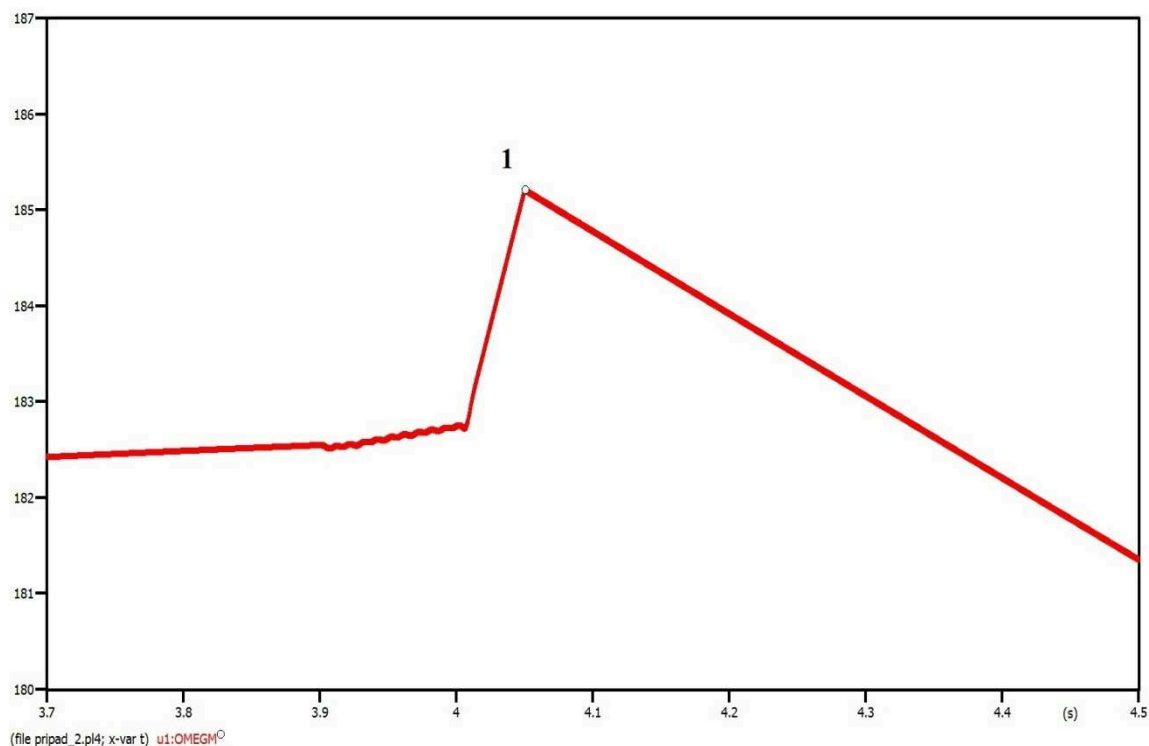
Průběh proudu z rozvodny R110 Červenka při odpojení V598 od distribuční sítě.



Obr. č. 28 Průběh proudu R110 Červenka, detail odpojení, druhý případ

Amplituda fáze, na které se nachází porucha, je 1274 A v bodě označeném číslem 1. V čase 4 sekundy je počátek vypínacího procesu.

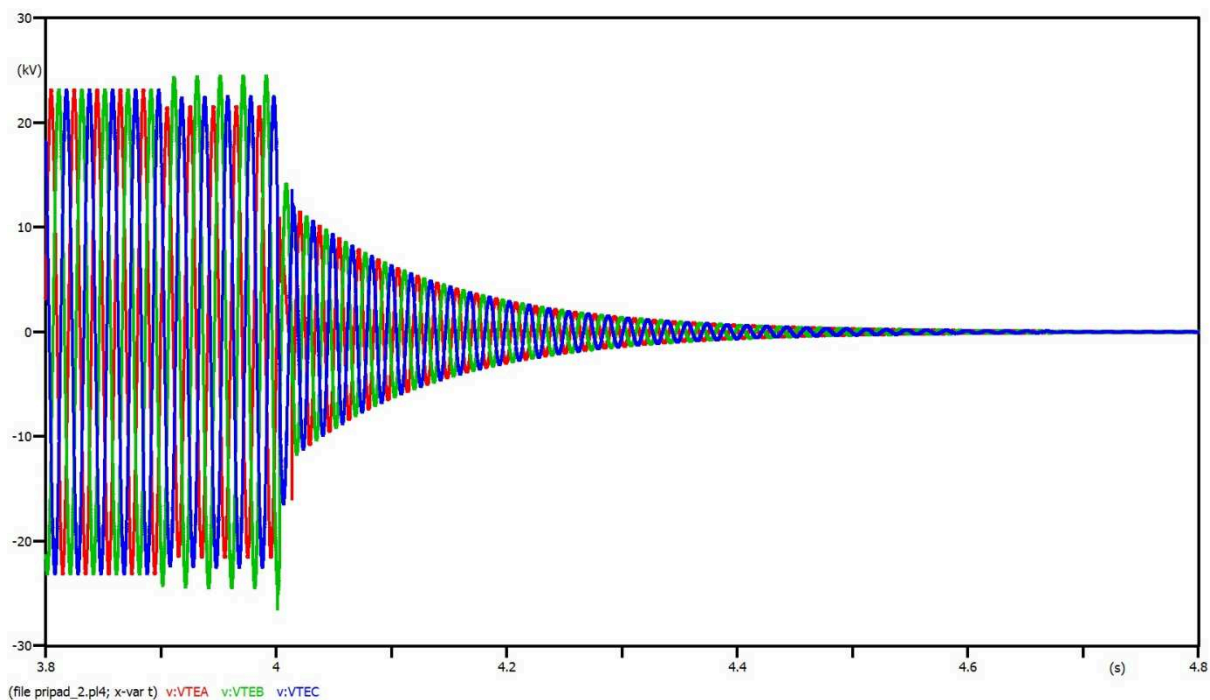
Po odpojení VtE od distribuční sítě se začnou zvedat otáčky generátorů a musí být odpojeny. Vypnutí generátorů proběhne 50 ms po odpojení od vedení V598. Následující graf zobrazuje průběh úhlové rychlosti generátoru.



Obr. č. 29 Průběh úhlové rychlosti generátoru, druhý případ

V čase 3,9 sekundy vznikla porucha na vedení V598 impedance fází nejsou symetrické a rychlost stroje začne kolísat. V čase 4 sekundy pracuje generátor v ostrovním režimu a začnou se prudce zvedat otáčky stroje. Po padesáti milisekundách, na obrázku označeno jako bod 1, jsou všechny generátory vypnuty a otáčky začnou klesat na nulu, dle jejich setrvačnosti.

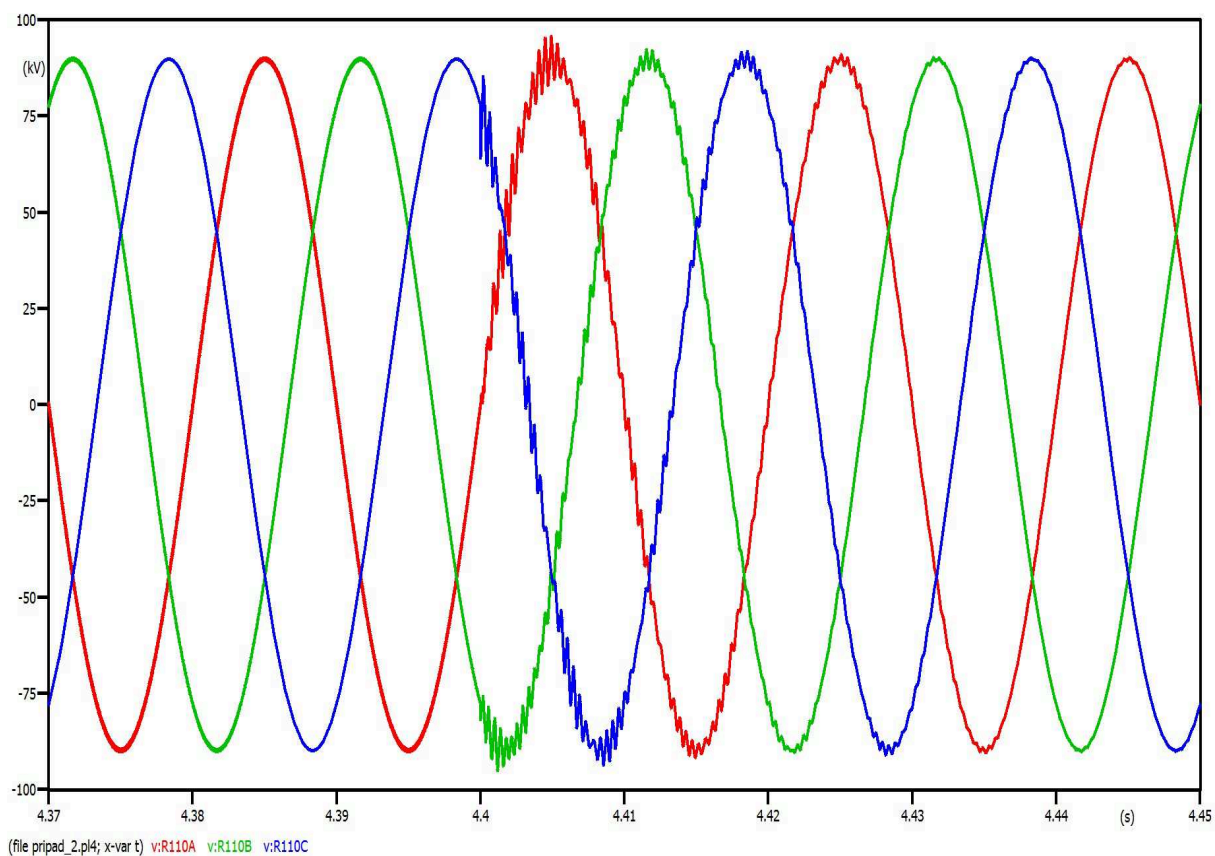
Průběh napětí na VtE až po dobu kdy se generátory zastaví a napětí klesne na nulu.



Obr. č. 30 Průběh proudu R110, detail připojení, druhý případ

Z obrázku lze vidět, že napětí VtE exponenciálně klesá k nule. Amplituda fáze napětí má v čase 4,7 sekundy hodnotu přibližně 30 V. Vlivem setrvačnosti stroje celková doba simulace nestačí pro úplné zastavení stroje.

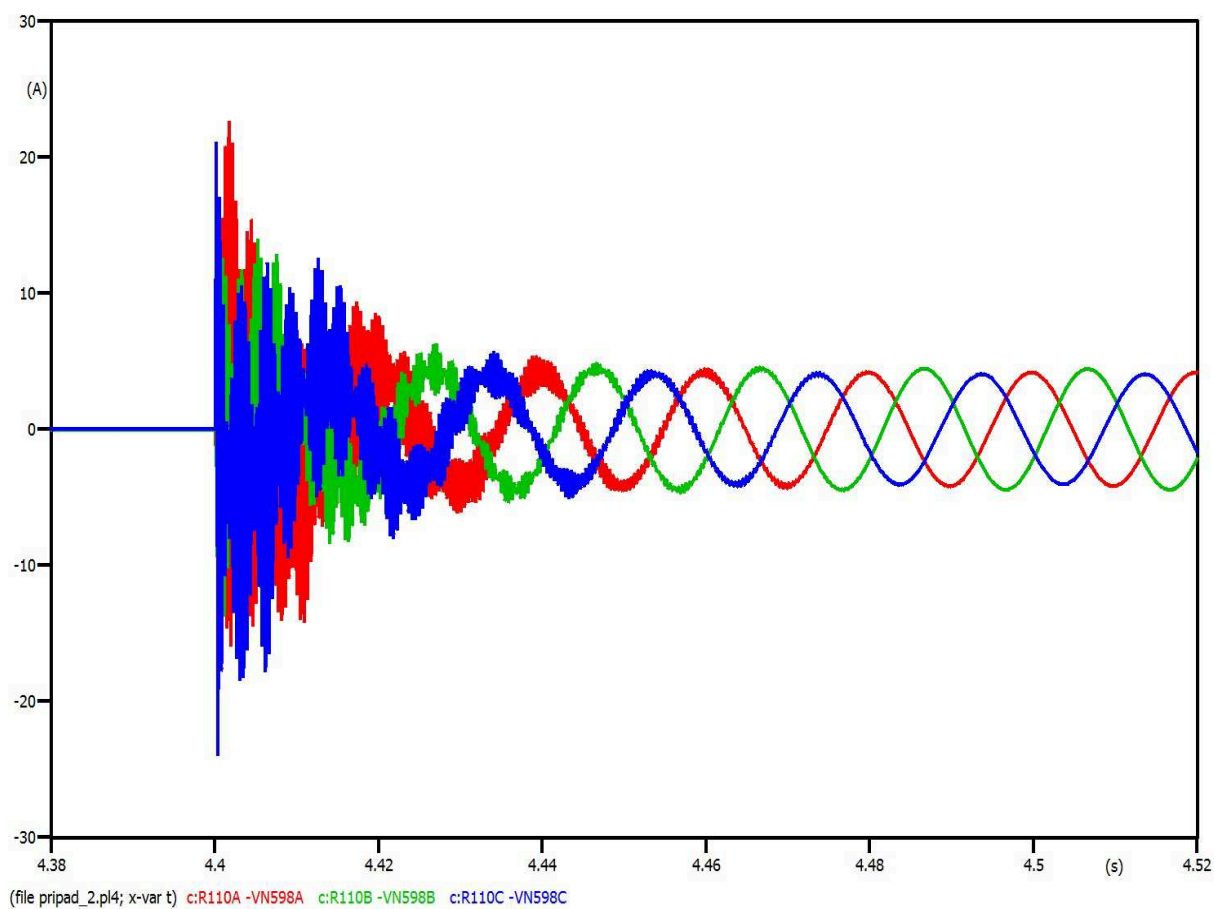
Průběh napětí rozvodny R110 Červenka po připojení vedení V598 bez VtE.



Obr. č. 31 Průběh napětí R110 Červenka, detail připojení, druhý případ

K rozvodně se při OZ připojuje vedení V598, které je zapojeno naprázdno. Po ustálení napětí se vlivem kapacity vedení zvětší amplituda na hodnotu 89854 V z původních 89815 V.

Průběh proudu R110 Červenka při připojení vedení V598.

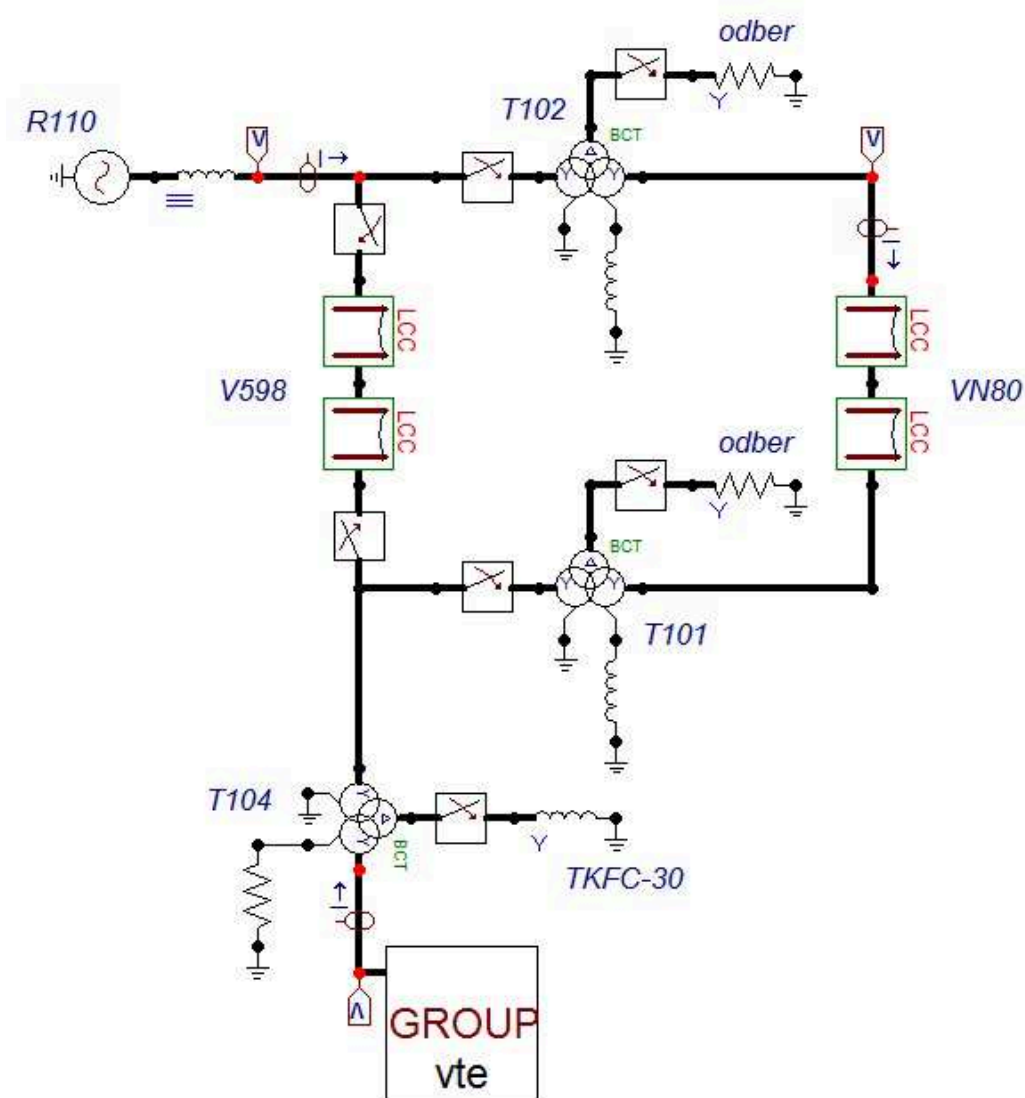


Obr. č. 32 Proud R110 Červenka, detail připojení, druhý případ

Protože je vedení V598 zapojeno naprázdno proud vedení je malý. Jednotlivá lana jsou zavěšena v různých výškách a nejsou transponovaná, proto mají rozdílnou kapacitu a proud není symetrický. Amplitudy proudů jsou přibližně 4,2 A.

Třetí případ

Třetím případem je situace, kdy dojde k plánovanému odpojení vedení V598 a generátory budou připojeny k rozvodně R110 pomocí vedení vysokého napětí VN80. Část, která slouží k přemostění vedení V598, je složena z transformátoru T102, vedení VN80 a transformátoru T101. Vypínače OZ v tomto případě neslouží k opětovnému zapojení, ale pouze k jednorázovému odpojení vedení V598. Mezi vedení VN80 a transformátor T102 jsou umístěny další měřící sondy proudu a napětí pro kontrolu toku energie. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, jsou zdroje momentu nastaveny na 50 % maximálního výkonu pro přiblížení se reálnému provozu.

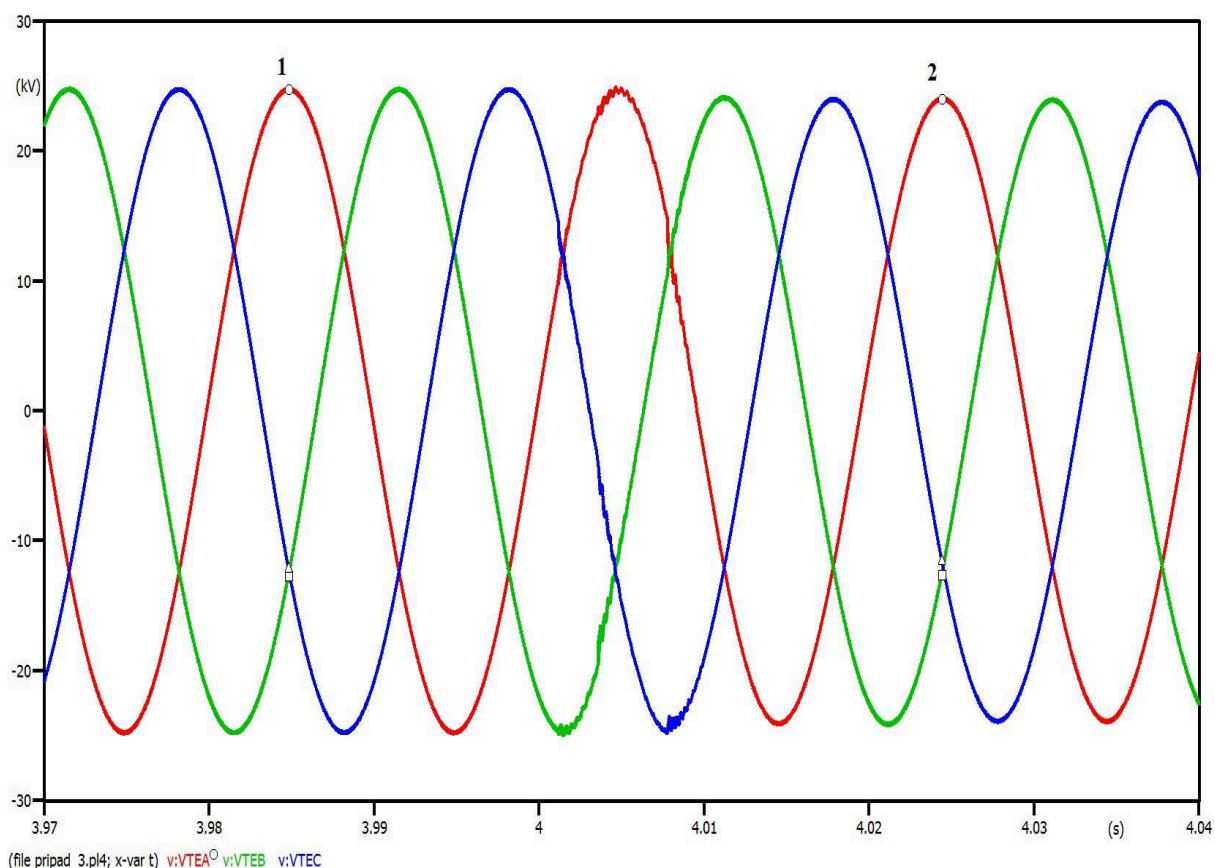


Obr. č. 33 Schéma modelu pro třetí případ

Doba simulace je opět nastavena 10 sekund. Scénář simulace je složen z následných kroků:

- V čase -1 sekunda jsou spuštěny zdroje momentu na hřídelích generátorů a zdroj napětí 110 kV představující tvrdou napájecí síť. Dále je v tomto čase připojeno vedení VN80, protože není zkoumán vliv připojení tohoto vedení k síti.
- V čase 4 sekundy je vedení V598 odpojeno od rozvodny R110 i VtE pomocí vypínačů OZ, které jsou umístěny na obou koncích vedení V598 jak je vidět na Obr. č. 33.

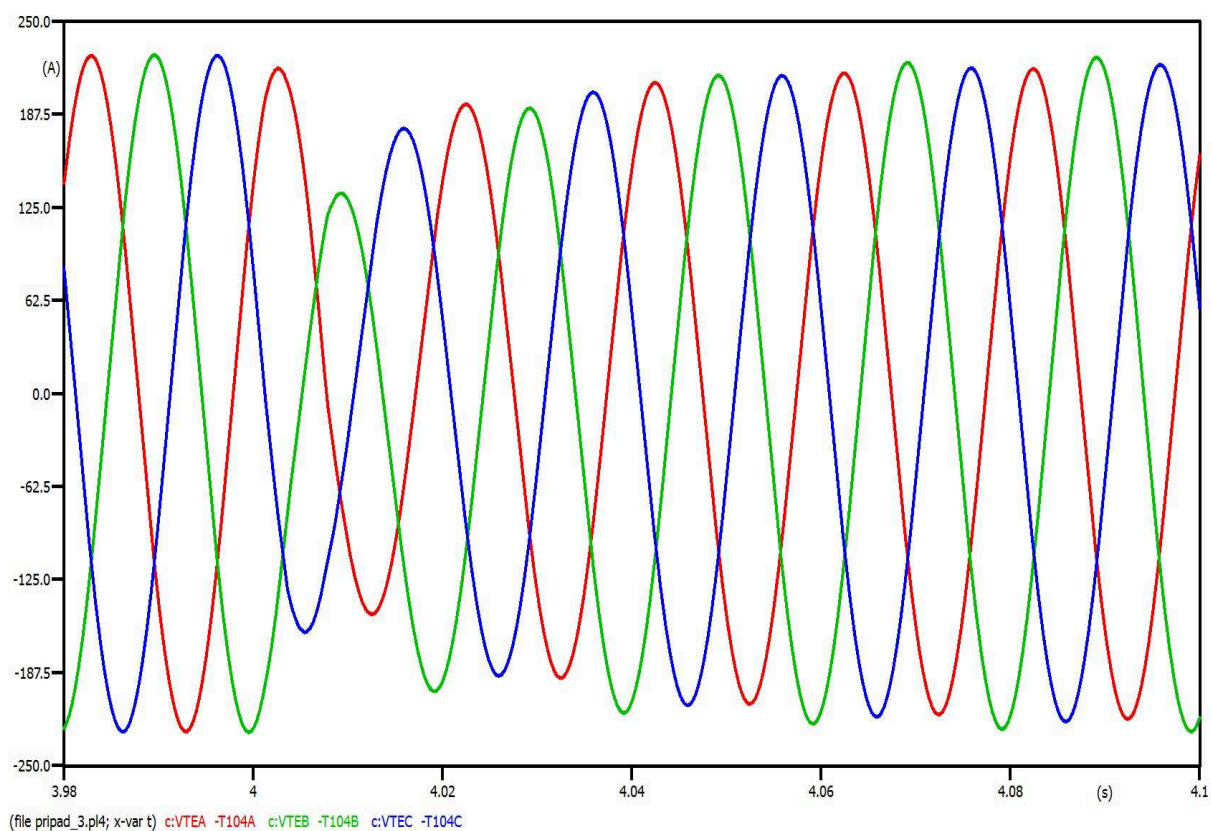
Následující graf zobrazuje průběh napětí VtE při odpojení vedení V598.



Obr. č. 34 Průběh napětí VtE, odpojení V598, třetí případ

Při paralelním spojení vedení V598 a VN80 je v bodě 1 amplituda fáze napětí VtE 24782 V. Při odpojení V598 se v obvodě zvýší impedance a tím se zvýší i úbytek napětí na vedení. Vedení VN80 má větší impedanci z důvodu menšího průřezu AlFe lana a menšího přenosového napětí 22 kV. Amplituda napětí v bodě 2 má hodnotu 24065 V.

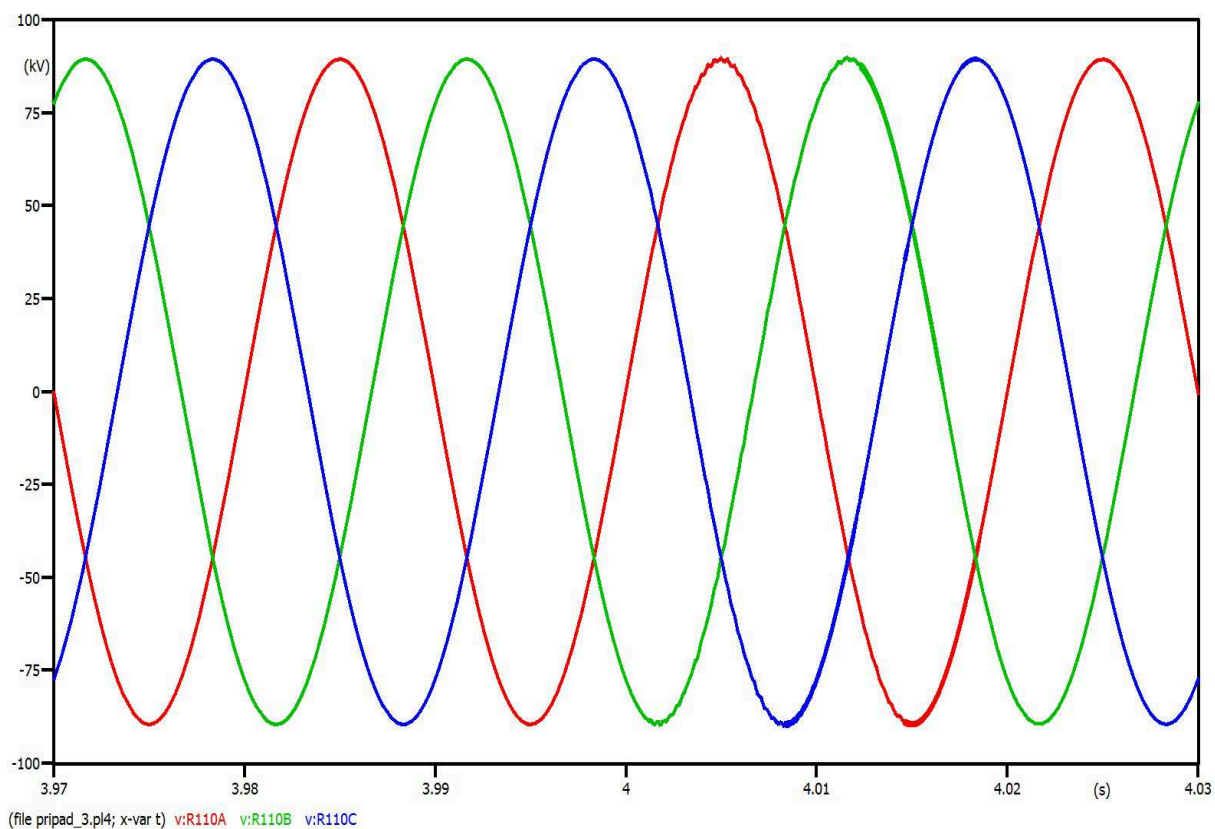
Průběh proudu V_{tE} při odpojení V598.



Obr. č. 35 Průběh proudu V_{tE} , odpojení V598. třetí případ

Při odpojení vedení V598 skokově poklesne moment generátorů a tím poklesne i generovaný výkon stroje. Moment stroje se ustálí přibližně za 100 ms.

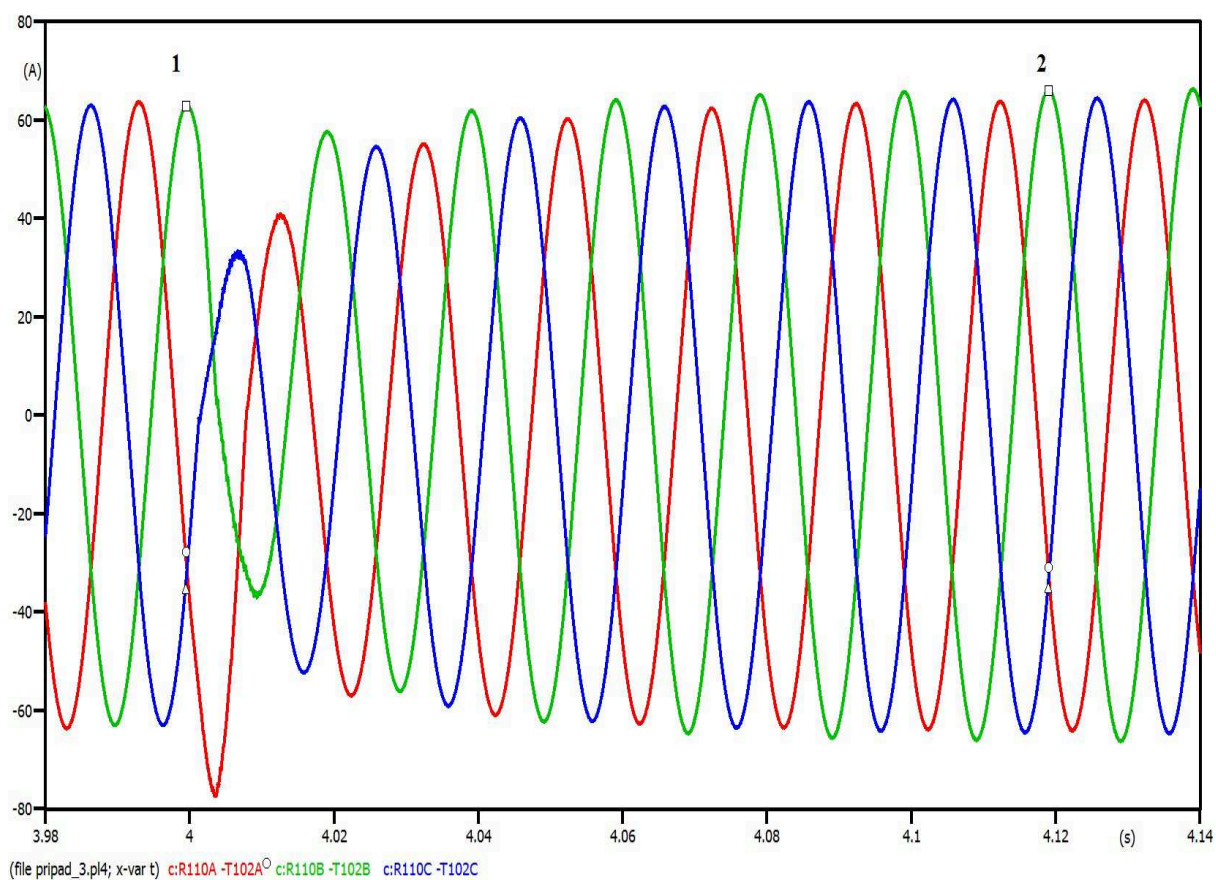
Průběh napětí rozvodny R110 Červenka v době odpojení V598.



Obr. č. 36 Průběh napětí R110 Červenka, odpojení V598, třetí případ

Na průběhu napětí rozvodny R110 Červenka lze pozorovat jen malé zakolísání napětí, protože se jedná o tvrdou napájecí síť tvořenou ideálním zdrojem s připojenou reaktancí soustavy.

Průběh proudu rozvodny R110 Červenka při odpojení.



Obr. č. 37 Průběh proudu R110 Červenka, odpojení V598, třetí případ

Amplituda fáze proudu B při paralelním spojení byla 63 A. Po odpojení V598 se amplituda proudu ve fázi B zvýší na 66 A v bodě 2.

Závěr

Účelem diplomové práce je pomoc při řešení vzniku nezvyklých stavů na distribuční síti v reálném provozu. Pro sestavení modelu potřebného pro analýzu bylo nutné zvolit důležité parametry pro dané zkoumané případy. Pokud by měl model sloužit pro všestranné využití a sledování veškerých jevů, které mohou na vedení nastat, musel by být doplněn o poznatky z jiných diplomových prací, které byly zadány v předchozích letech.

Po analýze prvního případu, kde byl zkoumán stav, při kterém došlo k vypnutí jedné fáze vedení VVN 110 kV, lze říci, že je možné stále provozovat asynchronní generátory i při tomto stavu. Při připojení generátorů pomocí jen dvou fází vzniká nesymetrie napětí, ale generátory se po dobu odpojení stále nachází v generátorickém stavu a mohou pokračovat v provozu.

Ve druhém řešeném případě se jednalo o úplné odpojení větrné farmy od distribuční sítě. V takovém stavu by se jednalo o ostrovní provoz. Generátory nemají zdroj jalové energie pro vytvoření magnetického pole. Tento stav není přípustný a generátory musí být odpojeny. Při opětovném zapnutí je vedení VVN zapnuto naprázdno a dochází ke vzniku Ferrantiho jevu. Při reálném provozu je vedení využito i pro napájení města Šternberk.

Třetím případem bylo připojení větrné elektrárny přes vedení VN namísto VVN. Přepojování probíhalo při padesáti procentech výkonu generátorů. Při přechodu ze 110 kV na 22 kV se zvýší proud procházející vedením a tím dochází ke větším úbytkům napětí na vedení. Úbytky napětí jsou větší i z důvodu menšího průřezu lan použitých na vedení a připojení dalších dvou transformátorů, které mají své vlastní ztráty. Při přechodu na VN přenos zůstanou větrné elektrárny v generátorickém režimu a lze je dále provozovat.

Seznam použité literatury

a) Internetové zdroje

[1] *2 MW platform. Vestas* [online]. Denmark: Vestaswindsystems A/S, 2015 [cit. 2016-03-07].

Dostupné z:

<http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/2MWbrochure/2MWProductBrochure/>

[2] *Brochure EGE 3-Phase ShuntReactor TKFC. EGE* [online]. České Budějovice: Ege, spol. s r.o., 2013 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z:http://www.ege.cz/storage/1_1562_2015prospekt-tkfc-en.pdf

[3] *V90 1.8/2.0 MW. Vestas* [online]. Deutschland: Vestaswindsystems A/S, 2010 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z:http://www.profes.at/download/VestasV90_2-MW.pdf

[4] *Tzb-info: Stožáry VVN (III)* [online]. Ing. Radek Procházka, 2007 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z:<http://www.tzb-info.cz/4192-stozary-vvn-iii>

[5] *ATPDraw* [online]. NTNU-Norway: Hans Kr. Høidalen, 2012 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z:<http://www.atpdraw.net/index.php>